变配用电设备电气试验与典型故障分析及处理

BIANPEI YONGDIAN SHEBEI
DIANQI SHIYAN YU
DIANXING GUZHANG FENXI JI CHULI

赵永生 主编
彭玉槐 唐亚笛 王先存 胡灵荣 参编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

三菱 FX 系列 PLC 原理及工程应用

王雅芳　编著



机 械 工 业 出 版 社

本书结合作者多年的教学与工程实践经验，以当今市场比较典型实用的三菱 FX 系列 PLC 为例进行介绍，全书共分为 9 章，具体包括 PLC 概述、系统组成与工作原理，PLC 的编程语言与基本逻辑指令、功能指令与步进梯形指令，PLC 的控制系统设计，PLC 手持编程器和编程软件、网络及计算机通信，PLC 控制系统开发应用、特殊功能模块内容等。

本书立足于专业，理论和实践结合、深入考虑读者的需求，简明实用，实例丰富、图文并茂，可作为高职高专电子信息工程、电气工程、自动化、计算机应用以及机电一体化等专业教材，亦可作为职大和电大相近专业的教学用书，还可用作电工类技师、高级技师的 PLC 技术培训教材。对于广大的电气工程技术人员来说，本书也是一本有价值的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

三菱 FX 系列 PLC 原理及工程应用/王雅芳编著. —北京：机械工业出版社，2012.6

ISBN 978-7-111-38047-4

Ⅰ.①三…　Ⅱ.①王…　Ⅲ.①PLC 技术　Ⅳ.①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 070130 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：张俊红　责任编辑：张俊红
版式设计：霍永明　责任校对：张晓蓉
封面设计：马精明　责任印制：杨 曦
北京市朝阳区展望印刷厂印刷
2012 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm · 16 印张 · 395 千字
0001—3000册
标准书号：ISBN 978-7-111-38047-4
定价：39.8 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
社服务中心：（010）88361066
销售一部：（010）68326294
销售二部：（010）88379649
读者购书热线：（010）88379203

网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

前　　言

可编程序控制器（Programmable Logical Controller，PLC），是在继电器接触器控制技术和计算机技术的基础上开发出来的。它是一种以微处理器为核心，带有指令存储器和输入/输出接口，能将自动化技术、计算机技术、通信技术融为一体的新型工业控制装置，适用于不同控制要求的各种控制对象。它具有简单易懂、操作方便、可靠性高、通用灵活、体积小、使用寿命长等许多其他控制器件所无法相比的优点。

PLC 自面世以来，在汽车、钢铁、航空航天、船舶、化工、纺织、食品、造纸、军工等工业领域获得了广泛的应用，已成为一种最重要、最普及、应用场合最多的工业控制器，与机器人、CAD/CAM 并称为工业生产自动化的三大支柱。

本书以目前市场上主流机型 FX 作为主要对象，详细介绍了 PLC 的工作原理、软硬件构成、指令系统和通信、控制系统设计以及应用等相关知识。在选材上本书特别注意从应用角度出发，以大量的编程方法和 PLC 的工程应用实例贯穿全书，以帮助读者能更快地理解和掌握 PLC 技术及使用方法。在编写风格上力求由浅入深、通俗易懂，并注重实用性。

本书由福建水利电力职业技术学院王雅芳编写，在本书编写过程中，在资料收集引用和技术交流方面得到许多专家与学者及同仁的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编　者

目　录

前言

第 1 章　绪论 …… 1

1.1　PLC 的发展历史和定义 …… 1

1.1.1　PLC 的发展历史 …… 1

1.1.2　PLC 的定义 …… 2

1.2　PLC 的主要特点和应用领域 …… 2

1.2.1　PLC 的主要特点 …… 2

1.2.2　PLC 的应用领域 …… 4

1.3　PLC 的发展趋势 …… 5

第 2 章　PLC 的系统组成与工作原理 …… 8

2.1　PLC 的基础知识 …… 8

2.1.1　PLC 的基本控制原理 …… 8

2.1.2　PLC 的主要性能指标 …… 10

2.1.3　PLC 的分类 …… 11

2.1.4　PLC 的硬件和软件 …… 13

2.2　PLC 的工作原理 …… 24

2.2.1　PLC 的工作方式 …… 24

2.2.2　扫描过程 …… 24

2.2.3　PLC 对输入/输出的处理 …… 27

2.3　三菱 FX 系列 PLC …… 32

2.3.1　三菱 FX 系列硬件配置和技术指标 …… 33

2.3.2　三菱 FX 系列 PLC 的编程元件 …… 40

第 3 章　PLC 的编程语言与基本逻辑指令 …… 51

3.1　PLC 的编程语言 …… 51

3.2　PLC 的梯形图的基本概念和基本编程规则 …… 53

3.2.1　PLC 的梯形图的基本概念 …… 53

3.2.2　PLC 的梯形图的基本编程规则 …… 54

3.3　三菱 FX 系列 PLC 的基本逻辑指令 …… 56

3.3.1　三菱 FX 系列逻辑指令基本类型 …… 56

3.3.2　三菱 FX 系列基本逻辑指令简介 …… 58

第 4 章　PLC 的功能指令与步进梯形指令 …… 65

4.1　PLC 的指令系统 …… 65

4.1.1　指令系统概述 …… 65

4.1.2　指令系统的表示形式 …… 65

4.1.3　程序流向控制指令 …… 69

4.1.4　传送与比较指令 …… 71

4.1.5　算术和逻辑运算指令 …… 75

4.1.6　循环与移位指令 …… 78

4.1.7　数据处理指令 …… 80

4.1.8　高速处理指令 …… 83

4.1.9　方便指令 …… 86

4.1.10　外部 I/O 设备指令 …… 88

4.1.11　浮点数运算、时钟运算和 FX 外部设备指令 …… 91

4.2　状态转移图及步进梯形指令 …… 95

第 5 章　PLC 的控制系统设计 …… 101

5.1　PLC 控制系统设计概述 …… 101

5.1.1　PLC 控制系统设计的基本原则 … 101

5.1.2　PLC 控制系统设计流程简述 …… 101

5.2　PLC 控制系统设计步骤的内容 …… 103

5.2.1　确定控制对象和控制范围 …… 103

5.2.2　内存容量估计 …… 104

5.2.3　PLC 供电方式的选择 …… 105

5.2.4　输入/输出模块的选择 …… 105

5.2.5　PLC 的硬件设计 …… 107

5.2.6　PLC 的软件设计 …… 107

5.2.7　PLC 扩展模块的选择 …… 108

5.2.8　PLC 的外围电路设计 …… 108

5.2.9　总装统调 …… 108

5.3　梯形图设计法 …… 109

5.3.1　PLC 程序的经验设计法 …… 109

5.3.2　PLC 程序的顺序控制设计法 …… 111

5.3.3　PLC 程序的逻辑设计法 …… 128

5.3.4　PLC 程序的移植设计法 …… 132

5.4　PLC 的控制系统程序设计举例 …… 135

5.4.1　程序设计项目举例一：十字路口

交通信号灯控制 …………………… 135
5.4.2　程序设计项目举例二：艺术彩灯控制 ……………………………… 138
5.4.3　程序设计项目举例三：送料车控制 ……………………………… 140
第6章　手持编程器和编程软件 ……… 144
6.1　手持编程器的组成及其使用 ………… 144
6.2　编程软件 GX Developer 的简介和使用 …………………………………… 156
6.2.1　编程软件的简介 …………………… 156
6.2.2　编程软件的使用 …………………… 157
6.3　SWOPC－FXGP/WIN－C 编程软件简介 ………………………………… 169
第7章　三菱 FX 系列网络及计算机通信 ………………………………… 181
7.1　PLC 数据通信和网络基础 …………… 181
7.1.1　PLC 通信基础 ……………………… 181
7.1.2　PLC 网络基础 ……………………… 190
7.1.3　三菱的 PLC 网络 ………………… 193
7.2　PLC 的通信 …………………………… 194
7.2.1　PLC 的 N∶N 通信 ………………… 195
7.2.2　PLC 双机并联通信 ……………… 198
7.2.3　PLC 与计算机专有协议通信 …… 201
7.2.4　PLC 与计算机无协议通信 ……… 206
7.3　现场总线技术 ………………………… 206
7.4　三菱 PLC 网络在汽车总装线上的应用实例 ………………………………… 212
第8章　PLC 控制系统开发应用 ……… 215
8.1　PLC 应用程序开发 …………………… 215
8.1.1　PLC 应用程序开发要点 ………… 215
8.1.2　典型单元程序的设计 …………… 215
8.2　PLC 控制系统开发应用实例 ………… 222
8.2.1　PLC 在机械加工中的应用——搬运机械手 ………………………… 222
8.2.2　PLC 在化工生产中的应用——液体搅拌机 ………………………… 227
8.2.3　PLC 在楼宇智能化中的应用——轿厢升降电梯 ……………………… 228
8.3　提高 PLC 控制系统可靠性的措施 …… 233
第9章　特殊功能模块 …………………… 236
9.1　模拟量 I/O 模块 ……………………… 236
9.2　通信模块 ……………………………… 243
9.3　其他特殊模块简介 …………………… 244
参考文献 ………………………………… 247

第 1 章　绪　　论

在 PLC 出现前，在工业电气控制领域中，继电器控制占主导地位，应用广泛。但是电器控制系统存在体积大、可靠性低、查找和排除故障困难等缺点，特别是其接线复杂、不易更改的缺点，对生产工艺变化的适应性变差。

1968 年美国通用汽车（GM）公司为了适应汽车型号不断更新，生产工艺不断变化的需要，实现小批量、多品种生产，希望能有一种新型工业控制器，做到尽可能减少重新设计和更换电器控制系统及其接线，以降低成本，缩短设计周期。于是将计算机功能强大、灵活、通用性好等优点与电器控制系统简单易懂、价格便宜等优点结合起来，制成一种通用控制装置，而且这种装置采用面向控制过程、面向问题的“自然语言”进行编程，使不熟悉计算机的人也能很快掌握使用。

1969 年美国数字设备公司（DEC）根据美国通用汽车公司的这种要求，研制成功了世界上第一台正式的 PLC，并在通用汽车公司的自动装配线上试用，取得很好的效果，从此这项技术迅速发展起来。

PLC 及其控制系统初期主要用来替代继电器控制，进行开关量逻辑控制。在其内部结构和功能上都类似于通用计算机，它有一套功能完善且简单的管理程序，能够完成故障检查、用户程序输入、修改、执行与监视等功能，有适应于各种工业控制系统的模块，易于与自动控制系统相连接，可以方便灵活地构成不同要求、不同规模的控制系统。

本章主要介绍 PLC 及其控制系统的基本知识，包括 PLC 的产生和发展、主要特点及应用等，使读者对 PLC 有比较全面的了解。

1.1　PLC 的发展历史和定义

1.1.1　PLC 的发展历史

PLC 是 20 世纪 70 年代以来在继电器 – 接触器控制系统中引入微型计算机控制技术后发展起来的一种新型工业控制设备。

PLC 的发展过程：

1）数字电路构成的初创阶段（20 世纪 60 年代末期第一台 PLC 问世到 20 世纪 70 年代中期）。1968 年美国通用汽车公司首先提出了“可编程序控制器”的概念，美国数字设备公司（DEC）于 1969 年研制出世界上第一台被大家认可的可编程序控制器。在 20 世纪 70 年代初期、中期，可编程序控制器即可以完成顺序控制，有逻辑运算、定时、计数等控制功能，并且已将可编程序控制器称为 PLC。

2）微处理器构成的实用型产品扩展阶段（20 世纪 70 年代中后期到 80 年代初期）。20 世纪 70 年代末至 80 年代初，随着微电子技术、计算机技术的发展，可编程序控制器的处理速度大大提高，不仅可以进行逻辑控制，而且可以对模拟量进行控制。美国电器制造协会

（NEMA）将可编程序控制器命名为 PC（Programmable Controller）。

3）大规模应用的成熟产品阶段（20 世纪 80 年代初到 80 年代末）。20 世纪 80 年代，PLC 以单片机或其他 16 位、32 位的微处理器作主控芯片，输入/输出等电路也采用 LSI 或 VLSI，功能有了突飞猛进的发展。这时的 PLC 具有了高速计数、中断技术、PID 调节和数据通信等功能。

4）通用的网络产品开放阶段（20 世纪 80 年末到现在）。为了适应现代化生产需求，扩大 PLC 在工业领域的应用范围，PLC 的发展趋势一是向超小型、专用化和低价格的方向发展；二是向大型化、高速、多功能和分布式全自动化网络方向发展，以适应现代企业自动化的需要。

自 PLC 面世以来，在机械、电力、冶金、能源、化工、交通等领域中有着广泛的应用，已成为一种最重要、最普及、应用场合最多的工业控制器。与机器人、CAD/CAM 并称为工业生产自动化的三大支柱。

早期的可编程序控制器在功能上只能进行逻辑控制，替代继电器、接触器为主的各种顺序控制，其后功能大大增强，不仅具有逻辑运算功能，而且具有算术运算、模拟量处理和通信联网等功能。为了便于与个人计算机（Personal Computer，PC）相区别，人们习惯上仍将可编程序控制器称为 PLC。

1.1.2　PLC 的定义

国际电工委员会（IEC）在 1987 年 2 月通过了对它的定义：可编程序控制器（PLC）是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计。它采用可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算，顺序控制、定时、计数和算术运算等操作指令，并通过数字式和模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器及其有关外围设备，都按易于与工业系统连成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。

事实上，PLC 是一种以微处理器为核心，带有指令存储器和输入/输出接口，将自动化技术、计算机技术、通信技术融为一体的新型工业控制装置。

通过以上定义可知，相对一般意义上的计算机，PLC 并不仅仅具有计算机的内核，它还配置了许多使其适用于工业控制的器件。它实质上是经过一次开发的工业控制用计算机。但是，从另一个方面来说，它是一种通用机，不经过二次开发，它就不能在任何具体的工业设备上使用。不过，自其诞生以来，电气工程技术人员感受最深刻的也正是 PLC 二次开发编程十分容易。再加上体积小、工作可靠性高、抗干扰能力强、控制功能完善、适应性强、安装接线简单等众多优点，PLC 在短短的几十年中获得了突飞猛进的发展，在工业控制中获得了非常广泛的应用。

1.2　PLC 的主要特点和应用领域

1.2.1　PLC 的主要特点

PLC 是现代计算机技术与传统继电—接触器控制技术相结合的产物，专用于工业控制环境，具有许多其他控制器件所无法相比的优点。

1. 高可靠性与高抗干扰能力

PLC 产品是专为工业控制环境设计的，机内采取了一系列抗干扰措施，其平均无故障时间可高达 4 ~ 5 万小时，远远超过采用硬接线的继电—接触器控制系统，也远远高于一般的计算机控制系统。PLC 产品在软件设计上采取了循环扫描、集中采样、集中输出的工作方式，设置了多种实时监控、自诊断、自保护、自恢复程序；在硬件设计上采用了屏蔽、隔离、滤波、联锁等抗干扰电路结构，并实现了整体结构的模块化。PLC 能在一般高温、振动、冲击和粉尘等恶劣环境下工作，能在强电磁干扰环境下可靠工作，这是它优于普通微机控制系统的首要特点，是 PLC 产品的市场生存价值。

2. 通用性强，使用方便

采用模块化结构，通用性强，扩展方便，组合灵活，实用性强，与外围设备的连接较为方便，使用通信协议标准。PLC 作为专用微机控制系统产品，采用了标准化的通用模块结构，其 I/O 电路又采用了足够的抗干扰设计，既可以使用模拟量，也可以使用开关量，现场信号可以直接接入，用户不需要进行硬件的二次开发，控制规模又可以根据控制对象的信号数量与所需功能进行灵活方便的模块组合。

由于 PLC 自身硬件特点，用户在进行控制系统的设计时，不需要自己设计和制作硬件装置，只需要根据控制要求进行模块的配置；用户所做的工作只是设计满足控制对象的控制要求的应用程序。对于一个使用 PLC 的控制系统，当控制要求改变时，只需修改程序，就能变更控制功能。

3. 编程简单，易于掌握

这是 PLC 产品优于普通微机控制系统的另一个特点。PLC 的程序编写一般不需要高级语言，其通常使用易学易懂的梯形图语言，梯形图语言类似于继电器控制原理图，未掌握专门计算机知识的现场工程技术人员也可以很快熟悉和使用，这种面向问题和控制过程的编程语言直观、清晰、修改方便且易于掌握。当然，不同机型 PLC 在编程语言上是多样化的，但同一档次不同机型的控制功能可以十分方便地相互转换。

4. 系统设计周期与开发周期短

设计一套常规继电器控制系统需顺序进行电路设计、安装接线、逻辑调试三个步骤，只有进行完前一步才能进入下一步，开发周期长，线路修改困难，工程越大这一缺点就越明显。而使用 PLC 完成一套电气控制系统，只要电气总体设计完成，I/O 点分配完毕，软件设计模拟调试与硬件设计施工就可以同时分别进行。在软件调试方面，控制程序可以反复修改；在硬件施工方面，安装接线只涉及输入和输出装置，不涉及复杂的继电器控制线路，硬件投资较少，故障率低。在软、硬件分别完成之后的正式调试中，控制逻辑的修改也仅涉及软件修改，大大缩短了开发周期。

5. 功能强、体积小且重量轻

微电子技术及电子电路装配工艺的发展，使 PLC 的体积变得更小，以便于嵌入到任何小型的机器和设备中，同时 PLC 的执行速度也越来越快，目前大型 PLC 的程序执行速度可高达 34ns，从而保证了控制作用的实时性，可使系统的控制作用及时、准确。I/O 点数达 14336，配置 32 位微处理器，多 CPU 可并行工作，大容量存储器，扫描速度高速化等。

由于 PLC 产品是以微型计算机为核心的，所以具有许多计算机控制系统的优越性。以日本三菱公司的 FX2N－32MR 小型可编程序控制器为例，该 PLC 的外形尺寸是 87mm × 40mm ×

90mm，重量为 0.65kg，内部包含各类继电器 3228 个，状态寄存器 1000 个，定时器 256 个，计数器 241 个，数据寄存器 8122 个，耗电量为 150W，其应用指令包括程序控制、传送比较、四则逻辑运算、移位、数据（包括模拟量）处理等多种功能，指令执行时间为每步小于 0.1μs，无论在体积、重量上，还是在执行速度、控制功能上，都是常规继电器控制系统所无法相比的。体积小、重量轻，是实现“机电一体化”的理想产品。

6. 对生产工艺改变适应性强

其控制功能是通过软件编程来实现的，当生产工艺改变时，在很大程度上只需改变用户程序，这对现代化的小批量、多品种产品的生产尤其适合；现今 PLC 已经朝着嵌入式系统发展，将进入日常生活中。

7. 安装与调试方便，维护工作量小

PLC 控制系统的安装接线工作量比继电器控制系统少得多，只需将现场的各种设备与 PLC 相应的 I/O 口相连。PLC 软件设计和调试大部分可以在实验室模拟进行，模拟调试好后再将 PLC 控制系统进行现场联机调试，方便省时。其本身可靠性高，有完善的自诊断能力和系统监控能力，方便迅速进行故障查明和排除，维护的工作效率高。

8. 适应工业环境

PLC 的技术条件能在一般高温、振动、冲击和粉尘等恶劣环境下工作，能在强电磁干扰环境下可靠工作。

1.2.2　PLC 的应用领域

PLC 具有可靠性高、体积小、功能强、程序设计简单、灵活通用、维护方便等一系列优点，根据这些特点，可将其应用形式归纳为以下几种：开关量的逻辑控制、模拟量控制、过程控制、计数控制、运动控制、数据处理、通信和联网。

1. 开关量的逻辑控制

开关量的逻辑控制是 PLC 最基本、最广泛的应用领域，可用它取代传统的继电器控制电路，实现逻辑控制、顺序控制，既可用于单台设备的控制，又可用于多机群控制及自动化流水线。

2. 模拟量控制

在工业生产过程中，为了使可编程序控制器能处理如温度、压力、流量、液位和速度等模拟量信号，PLC 厂家都有配套的 A－D、D－A 转换模块用于模拟量控制。

3. 运动控制

PLC 可以用于圆周运动或直线运动的控制。各主要 PLC 厂家几乎都有运动控制功能专用模块，如可驱动步进电动机或伺服电动机的单轴或多轴位置控制模块，广泛地用于各种机械、机床、机器人、电梯等场合。

4. 过程控制

过程控制是指对温度、压力、流量、物位、成分等各种模拟量进行控制，通过其模拟量的输入/输出单元，可以实现闭环的 PID 过程控制，还可以和计算机联网组成集散控制系统。PLC 能编制各种各样的控制算法程序，完成闭环控制。如 PID 调节就是一般闭环控制系统中常用的调节方法。PID 处理一般是运行专用的 PID 子程序。过程控制在冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合有非常广泛的应用。

5. 数据处理

现代 PLC 具有数学运算（含矩阵运算、逻辑运算）、数据传送、数据转换、排序、查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析及处理。可实现软件滤波、线性化处理、标度变换的功能。这些数据可以与存储器中的参考值比较，完成一定的控制操作，也可以利用通信功能传送到别的智能装置，或将它们打印制表。数据处理一般用于大型控制系统，如无人控制的柔性制造系统；也可用于过程控制系统，如造纸、冶金、食品工业中的一些大型控制系统。

6. 计数控制

为满足计数的需要，不同的 PLC 提供不同数量、不同类型的计数器。如 FX1S 提供 16 位增量计数 C0～C15（一般用）、C16～C31（保持用），32 位高速可逆计数器 C235～C245（单相单输入）、C246～C250（单相双输入）、C251～C255（双相双输入）共 26 个定时器。用脉冲控制可以实现加、减计数模式，可以连接码盘进行位置检测，且在 PLC 运行中也可以读出、修改，使用方便。

7. 通信和联网

PLC 的通信包括 PLC 与 PLC、PLC 与上位计算机、PLC 与其他智能设备之间的通信，PLC 系统与通用计算机可直接或通过通信处理单元、通信转换单元相连构成网络，以实现信息的交换，并可构成“集中管理、分散控制”的多级分布式控制系统，满足工厂自动化（FA）系统发展的需要，具有通信联网、显示和打印功能。

1.3　PLC 的发展趋势

现代 PLC 发展的主要趋势：其一是向体积更小、速度更快、功能更强和价格更低的微小型方面发展，即现今开始发展的嵌入式 PLC 控制方式；其二是向大型网络化、高可靠性、好的兼容性和多功能方面发展。

1. 向模块智能化与大型网络化方向发展

为满足各种自动化控制系统的要求，近年来不断开发出许多功能模块，如高速计数模块、温度控制模块、远程 I/O 模块、通信和人机接口模块等。这些带 CPU 和存储器的智能 I/O 模块，既扩展了 PLC 功能，又使用灵活方便，扩大了 PLC 应用范围。

加强 PLC 联网通信的能力，是 PLC 技术进步的潮流。PLC 的联网通信有两类：一类是 PLC 之间联网通信；另一类是 PLC 与计算机之间的联网通信，一般 PLC 都有专用通信模块与计算机通信。为了加强联网通信能力，PLC 生产厂家之间也在协商制订通用的通信标准，以构成更大的网络系统，PLC 已成为集散控制系统（Distributed Control System，DCS）不可缺少的重要组成部分。一方面，PLC 网络系统已经不再是自成体系的封闭系统，而是迅速向开放式系统发展，各大品牌 PLC 除形成自己各具特色的 PLC 网络系统，完成设备控制任务之外，还可以与上位计算机管理系统联网，实现信息交流，成为整个信息管理系统的一部分；另一方面，现场总线技术得到广泛的采用，PLC 与其他安装在现场的智能化设备，如智能仪表、传感器、智能型电磁阀、智能型驱动执行机构等，通过一根传输介质（如双绞线、同轴电缆、光缆）链接起来，并按照同一通信规约互相传输信息，由此构成一个现场工业控制网络，这种网络与单纯的 PLC 远程网络相比，配置更灵活，扩展更方便，造价更低，

性能价格比更好，也更具开放意义。

大型网络化主要是朝DCS方向发展，使其具有DCS的一些功能。网络化和通信能力强是PLC发展的一个重要方面，向下可将多个PLC、I/O框架相连；向上与工业计算机、以太网、MAP网等相连构成整个工厂的自动化控制系统。

2. 向多功能、高速度、大容量方向发展

为了提高PLC的处理能力，要求PLC具有更好的响应速度和更大的存储容量。目前，有的PLC的扫描速度可达0.1ms/K步。PLC的扫描速度已成为很重要的一个性能指标。在存储容量方面，有的PLC最高可达几十兆字节。为了扩大存储容量，有的公司已使用了磁泡存储器或硬盘。

随着自调整、步进电动机控制、位置控制、伺服控制等模块的出现，使PLC控制领域更加宽广，如研制出了多回路闭环控制模块、步进电动机控制模块、仿真模块和通信处理模块等。并为用户提供了方便的人机界面，用户程序多级口令保护，极强的计算性能，完善的指令集，通过工业现场总线PROFIBUS以及以太网联网的网络能力，强劲的内部集成功能，全面的故障诊断功能；模块式结构可用于各处性能的扩展，脉冲输出晶闸管步进电动机和直流电动机；快速的指令处理大大缩短了循环周期，并采用了高速计数器，高速中断处理可以分别响应过程事件，大幅度降低了成本。

3. 向高可靠性方向发展

由于控制系统的可靠性日益受到人们的重视，一些公司已将自诊断技术、冗余技术、容错技术广泛应用到现有产品中，推出了高可靠性的冗余系统，并采用热备用或并行工作、多数表决的工作方式。PLC即使在恶劣、不稳定的工作环境下，坚固、全密封的模板依然可正常工作，在操作运行过程中模板还可热插拔。

根据统计资料表明：在PLC控制系统的故障中，CPU占5%，I/O接口占15%，输入设备占45%，输出设备占30%，线路占5%。前两项共20%故障属于PLC的内部故障，它可通过PLC本身的软、硬件实现检测、处理；而其余80%的故障属于PLC的外部故障。因此，PLC生产厂家都致力于研制、发展用于检测外部故障的专用智能模块，进一步提高系统的可靠性。

4. 向超大型、高性能小型化方向发展

当前中小型PLC比较多，为了适应市场的多种需要，今后PLC要向多品种方向发展，特别是向超大型和超小型两个方向发展。如现已有I/O点数达14336点的超大型PLC，其使用32位微处理器，多CPU并行工作和大容量存储器，功能强。

小型PLC由整体结构向小型模块化结构发展，使配置更加灵活，为了市场需要已开发了各种简易、经济的超小型微型PLC，最小配置的I/O点数为8～16点，以适应单机及小型自动控制的需要，如三菱公司α系列PLC。

PLC的功能正越来越丰富，而体积则越来越小。比如三菱的FX－1S系列PLC，最小的机种，体积仅为60mm×90mm×75mm，相当于一个继电器，但却具有高速计数、斜坡、交替输出及16位四则运算等能力，还具有可调电位器时间设定功能。PLC已不再是早期那种只能进行开关量逻辑运算的产品了，而是具有越来越强的模拟量处理能力，以及其他过去只有在计算机上才能具有的高级处理能力，如浮点数运算、PID调节、温度控制、精确定位、步进驱动、报表统计等。从这种意义上说，PLC系统与DCS的差别越来越小了，用PLC同

样可以构成一个过程控制系统。

5. 操作向简易化方向发展

目前 PLC 推广的难度之一就是复杂的编程使得用户望而却步，而且不同厂商 PLC 所有编程的语言也不尽相同，用户往往需要掌握更多种编程语言，难度较大。PID 控制、网络通信、高速计数器、位置控制、数据记录、配置和文本显示器等编程和应用也是 PLC 程序设计中的难点，用普通的方法对它们编程时，需要熟悉有关的特殊存储器的意义，在编程时对它们赋值，运行时通过访问它们来实现对应的功能。这些程序往往还与中断有关，编程的过程既烦琐又容易出错，阻碍了 PLC 的进一步推广应用。PLC 必然朝着简化复杂任务的编程方向发展。

第 2 章　PLC 的系统组成与工作原理

2.1　PLC 的基础知识

2.1.1　PLC 的基本控制原理

PLC 是微机技术和控制技术相结合的产物，是一种以微处理器为核心的用于控制的特殊计算机，因此 PLC 的基本组成与一般的微机系统类似。

PLC 控制系统的输入、输出部分和继电器—控制器系统的输入、输出部分基本相同，但 PLC 控制部分是采用可编程的 PLC，而不是实际的继电器电路。继电器—控制器系统是根据操作指令及被控对象发出的信号，由控制电路按规定的动作要求决定执行什么动作或动作的顺序，然后驱动输出设备去实现各种操作。由于控制电路是采用硬接线将各种继电器及按钮、开关等按一定的要求连接而成，所以接线复杂且故障点多，同时不易灵活改变。

由 PLC 构成的控制系统如图 2-1 所示。PLC 控制系统可以方便地通过改变用户程序，以实现各种控制功能，从根本上解决了继电器—控制器系统的控制电路难以改变的问题。同时，PLC 控制系统不仅能实现逻辑运算，还具有数值运算及过程控制等复杂的控制功能。

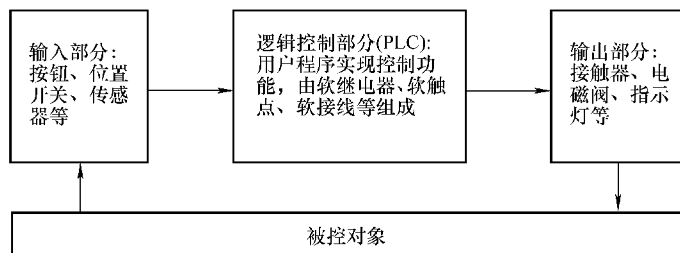


图 2-1　PLC 控制系统的组成

输入部分：收集并保存被控对象实际运行的数据和信息。

逻辑控制部分：处理输入部分取得的信息，并按照被控对象实际的动作要求做出反映。

输出部分：提供正在被控制的许多装置中，哪几个设备需要实时操作处理。

PLC 将输入信息采入 PLC 内部，通过执行用户程序来实现输入信号和输出信号之间的逻辑关系，再执行逻辑部件组合后所达到的逻辑功能，并将程序的执行结果通过输出端输出来实现对设备的控制。PLC 用于简易指示灯控制的电路图如图 2-2 所示。

从上述可知，PLC 的用户程序（软件）代替了继电器控制电路（硬件）。因此，对于使用者来说，可以将 PLC 等效成是许许多多各种各样的软继电器和软接线的集合，而用户程序就是用软接线将软继电器及其触点按一定要求连接起来的控制电路。

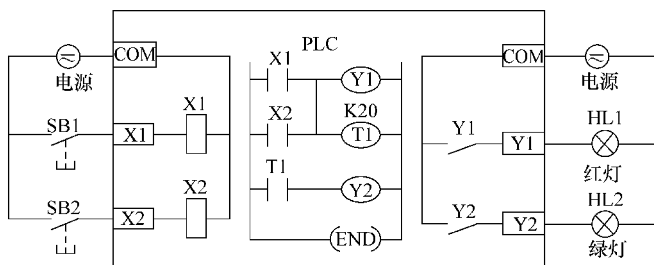


图 2-2　PLC 用于指示灯控制电路

为了更好地理解这种等效关系，下面通过一个继电器—接触器控制例子来说明。图 2-3 所示为三相异步电动机单向起动运行的继电器—接触器控制系统。其中，由输入设备 SB1、SB2、FR 的触点构成系统的输入部分，由输出设备 KM 构成系统的输出部分。

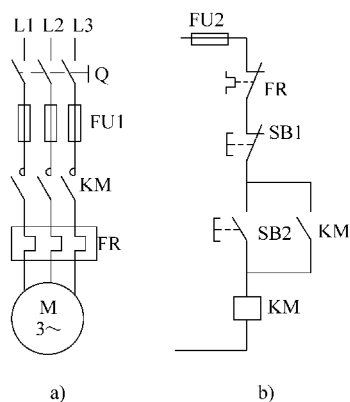


图 2-3　三相异步电动机单向起动运行继电器—接触器控制系统
a）主电路　b）控制电路

如果用 PLC 来控制这台三相异步电动机，组成一个 PLC 控制系统，根据上述分析可知，系统主电路不变，只要将输入设备 SB1、SB2、FR 的触点与 PLC 的输入端连接，输出设备 KM 线圈与 PLC 的输出端连接，就构成 PLC 控制系统的输入、输出硬件电路。而控制部分的功能则由 PLC 的用户程序来实现，其等效电路如图 2-4 所示。

图 2-4 中，输入设备 SB1、SB2、FR 与 PLC 内部的软继电器 X0、X1、X2 的线圈对应，由输入设备控制相对应的软继电器的状态，即通过这些软继电器将外部输入设备状态变成 PLC 内部的状态，这类软继电器称为输入继电器；同理，输出设备 KM 与 PLC 内部的软继电器 Y0 对应，由软继电器 Y0 状态控制对应的输出设备 KM 的状态，即通过这些软继电器将 PLC 内部状态输出，以控制外部输出设备，这类软继电器称为输出继电器。

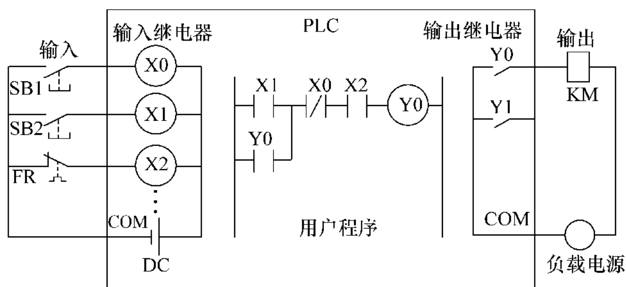


图 2-4　PLC 的等效电路

因此，PLC 用户程序要实现的是：如何用输入继电器 X0、X1、X2 来控制输出继电器 Y0。当控制要求复杂时，程序中还要采用 PLC 内部的其他类型的软继电器，如辅助继电器、

定时器、计数器等，以达到控制要求。

要注意的是，PLC 等效电路中的继电器并不是实际的物理继电器，它实质上是存储器单元的状态。单元状态为 1，相当于继电器接通；单元状态为 0，则相当于继电器断开。因此，我们称这些继电器为软继电器。

PLC 控制系统的特点：

（1）从控制方法上

继电器控制系统采用机械触点的串、并联的硬接线来实现对设备的控制，同时继电器的触点数量有限，使系统构成后灵活性和扩展性受到很大限制。

PLC 采用程序（软）的方式来实现对设备的控制，系统连线少，要改变控制逻辑只需改变程序。同时 PLC 中的各种软继电器实际上是存储器中的触发器，当软继电器通时相当于该触发器为 1，反之为 0，而触发器的状态可取用任意次，因此每个软继电器的触点数量是无限的。

（2）从工作方式上

继电器控制系统为并行工作方式，即该吸合的继电器都同时吸合。

PLC 控制系统为串行工作方式，其程序按一定顺序循环执行，各软继电器处于周期性循环扫描接通状态，其动作顺序取决于程序的扫描顺序。

（3）从控制速度上

继电器控制系统依靠机械触点来实现控制，动作慢，存在抖动现象。

PLC 控制系统采用程序方式来实现控制，指令的执行时间在微秒级。

（4）从定时和计数方式上

继电器控制系统的时间继电器的延时精度易受环境温度和湿度的影响，精度不高。无计数功能。

PLC 控制系统的时钟脉冲由晶振产生，精度高，范围宽。用户可根据需要在程序中设定定时值，修改方便，不受环境的影响，且 PLC 具有计数功能。

（5）从可靠性和可维护性上

继电器控制系统采用机械触点，寿命短，连线多，可靠性和可维护性差。PLC 控制系统采用微电子技术，体积小，可靠性高，同时 PLC 还有自诊断功能，为调试和维护提供了方便，并能动态地监视控制程序的执行情况，为现场调试和维护提供了方便。

2.1.2　PLC 的主要性能指标

由于各公司产品技术性能指标不同，且各有特色。一般可从 CPU 档次、I/O 点数、存储容量、扫描速度、网络功能等方面来衡量 PLC 的性能，PLC 的主要性能指标是控制系统设计选型的重要依据。

1. I/O 点数

输入/输出（I/O）点数是 PLC 可以接受的输入信号和输出信号的总和，是衡量 PLC 性能的重要指标。I/O 点数越多，外部可接的输入设备和输出设备就越多，控制规模就越大。

2. 存储容量

存储容量是指用户程序存储器的容量。用户程序存储器的容量大，可以编制出复杂的程序。一般来说，小型 PLC 的用户存储器容量为几千字，而大型机的用户存储器容量为几

万字。

3. 扫描速度

扫描速度是指 PLC 执行用户程序的速度，是衡量 PLC 性能的重要指标。一般以扫描 1K 字用户程序所需的时间来衡量扫描速度，通常以 ms/K 字为单位。PLC 用户手册一般给出执行各条指令所用的时间，可以通过比较各种 PLC 执行相同的操作所用的时间，来衡量扫描速度的快慢。

4. 指令种类和数量

指令功能的强弱、数量的多少也是衡量 PLC 性能的重要指标。编程指令的数量越多、功能越强，PLC 的处理能力和控制能力也越强，用户编程也越简单和方便，越容易完成复杂的控制任务。

5. 内部寄存器种类和数量

在编制 PLC 程序时，需要用到大量的内部元件来存放变量、中间结果、保持数据、定时计数、模块设置和各种标志位等信息。这些元件的种类和数量越多，表示 PLC 的存储和处理各种信息的能力也越强。

6. 可扩展能力

PLC 的可扩展能力包括 I/O 点数的扩展、存储容量的扩展、联网功能的扩展、各种功能模块的扩展等。在选择 PLC 时，经常需要考虑 PLC 的可扩展能力。

7. 智能模块

特殊功能单元种类的多少与功能的强弱是衡量 PLC 产品的一个重要指标。近年来各 PLC 厂商非常重视特殊功能单元的开发，特殊功能单元种类日益增多，功能越来越强，使 PLC 的控制功能日益扩大。

8. 编程语言与编程工具

每种类型 PLC 都具有多种编程语言，具有互相转换的可移植性，但不同类型 PLC 的编程语言互不相同、互不兼容。专用编程工具包括专用编程器和专用编程软件，编程器一般使用助记符语言，编程软件在计算机上操作，普遍采用梯形图、功能图或高级计算机语言进行编程。

2.1.3　PLC 的分类

1. 按照 I/O 点数和程序容量分类

输入/输出（I/O）单元是 PLC 与被控对象间传递输入/输出信号的接口部件。输入部件是开关、按钮、传感器等，输出部件是电磁阀、接触器、继电器。

为了适应不同工业生产过程的应用要求，可编程序控制器能够处理的输入信号数量是不一样的。一般将一路信号称作一个点，将输入点和输出点数的总和称为机器的点。按照点数的多少和程序容量，可将 PLC 分为超小（微）、小、中、大、超大等几种类型。

（1）小型机

小型 PLC 的 I/O 点数在 256 点以下，存储容量为 2K 步（1K = 1024，存储一个 1 或 0 的二进制码称为一位，一个字为 16 位），具有逻辑控制、定时、计数等功能，目前的小型 PLC 产品也具有算术运算、数据通信和模拟量处理功能。有的 PLC 用“步”来衡量，一步占用一个地址单元，它表示 PLC 能存放多少用户程序。

（2）中型机

中型 PLC 的 I/O 点数在 256 ~ 2048 点之间，存储容量为 2 ~ 8K 步，具有逻辑运算、算术运算、数据传送、中断、数据通信、模拟量处理等功能，用于多种开关量、多通道模拟量或数字量与模拟量混合控制的复杂控制系统。

（3）大型机

大型 PLC 的 I/O 点数在 2048 点以上，存储容量达 8K 步以上，具有逻辑运算、算术运算、模拟量处理、联网通信、监视记录、打印等功能，有中断、智能控制、远程控制能力，可完成大规模的过程控制，也可构成分布式控制网络，完成整个工厂的网络化自动控制。

2. 按照硬件结构分类

根据 PLC 的外形和硬件安装结构的特点，可将 PLC 分为整体式、模块式和混合式三种。

（1）整体式结构

整体式（箱体式）结构是将 PLC 的电源、中央处理器、输入/输出部件装在一个箱体内，通常称为基本单元。还包括整体的各个部分组成、工作方式开关、模拟电位器、I/O 扩展接口、工作状态指示和用户程序存储卡、I/O 接线端子排及指示灯等。主机箱体外部的 RS－485 通信接口，用以连接编程器（手持式或 PC）、文本/图形显示器、PLC 网络等外部设备。整体结构紧凑、体积小、重量轻、价格低，但主机的 I/O 点数固定，使用不灵活。一般小型 PLC 多采用这种结构，如三菱公司的 FX0N、FX1S、FX2N 系列，如图 2-5 所示。

整体式 PLC 一般还可配备特殊功能单元，如模拟量单元、位置控制单元等，使其功能得以扩展。

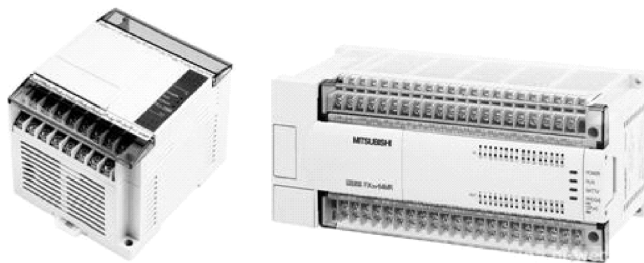


图 2-5　PLC 整体式 FX1S、FX2N 系列

（2）模块式结构

大、中型 PLC 和部分小型 PLC 为了扩展方便，常采用模块式结构，PLC 由机架和模块两部分组成，模块安插在插座上，模块插座焊在机架总线连接板上，有不同槽数的机架供用户选用，各机架之间用接口模块和电缆相连。模块式结构又叫积木式结构。模块式结构的特点是把 PLC 的每个工作单元都制成独立的模块，如 CPU 模块、输入模块、输出模块、通信模块等。另外用一块带有插槽的母板（实质上就是计算机总线）把这些模块按控制系统需要选取后插到母板上，就构成了一个完整的 PLC，如图 2-6 所示。模块式结构的 PLC 具有配置灵活、组装方便、扩展容易的优点，其缺点是结构较复杂、体积比较大、造价也较高。一般大、中型 PLC 都采用这种结构，如三菱 Q 系列 PLC。

（3）混合式 PLC

混合式结构将整体式结构和模块式结构的特点相结合。把某个系列的 PLC 工作单元的

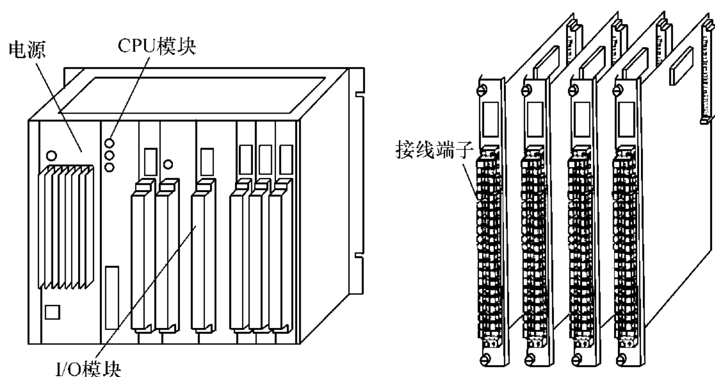


图 2-6　三菱系列 PLC 模块式结构

外形都制作成一致的外观尺寸，CPU、I/O 口及电源也可做成独立的，不使用模块式 PLC 中的母板，采用电缆连接各个单元，在控制设备中安装时可以一层层地叠装，就成了混合式 PLC。不但系统可以灵活配置，还可做得体积小巧。

任意构成某种形式的叠装式 PLC 即混合式 PLC，在 PLC 智能化发展后使用非常广泛。

3. 按照 PLC 功能的强弱分类

按照 PLC 功能的强弱分为低档机、中档机、高档机三种。

低档 PLC 具有逻辑运算、定时、计数等基本功能。有的还增设了模拟量的处理、算术运算、数据传送等功能，可以实现逻辑、顺序、计时、计数等控制。主要用于逻辑控制、顺序控制或少量模拟量控制的单机控制系统。

中档 PLC 除了具有低档机的功能外，还具有较强的模拟量输入/输出、算术运算、数据传送、通信联网等功能，可完成既有开关量又有模拟量的控制任务。有些还可增设中断控制、PID 控制等功能，适用于复杂控制系统。

高档 PLC 除具有中档机的功能外，增设带符号算术运算、矩阵运算等功能，使其运算能力提高。高档机还具有模拟调节、联网通信、监视、记录和打印等功能，使 PLC 的功能更多更强，能进行远程控制和大规模过程控制，构成集散控制系统。

2.1.4　PLC 的硬件和软件

1. PLC 的硬件

PLC 的硬件主要由中央处理器（CPU）、存储器、输入单元、输出单元、通信接口、扩展接口电源等部分组成。其中，CPU 是 PLC 的核心，输入单元与输出单元是连接现场输入/输出设备与 CPU 之间的接口电路，通信接口用于与编程器、上位计算机等外设连接。PLC 的硬件结构主要指其结构框架硬件的主要组成，其结构框图如图 2-7 所示。

PLC 的内部采用总线结构进行数据和指令的传输。外部的各种信号送入 PLC 的输入接口，在 PLC 内部进行逻辑运算或数据处理，最后以输出变量的形式经输出接口，驱动输出设备进行各种控制。硬件连接图如图 2-8 所示，电路接线图如图 2-9 所示。

尽管各种 PLC 的结构不太一样，但各部分的功能作用是相同的，下面对 PLC 主要组成各部分进行简单介绍。

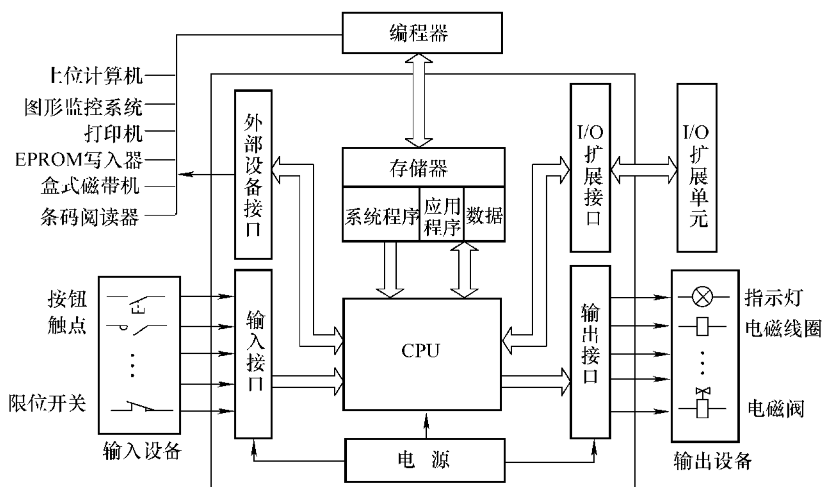


图 2-7　PLC 结构框图

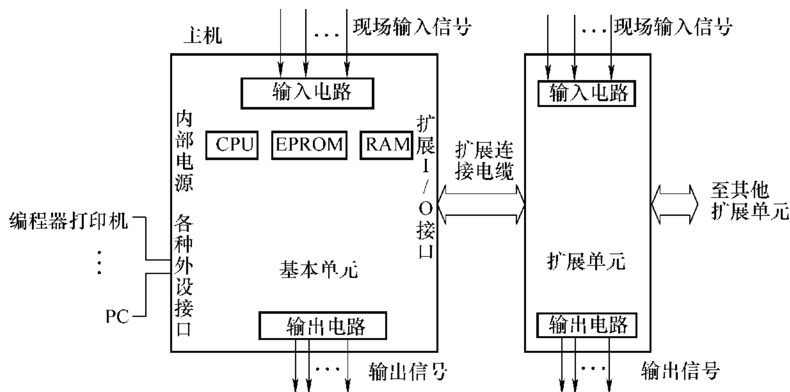


图 2-8　PLC 的硬件连接图

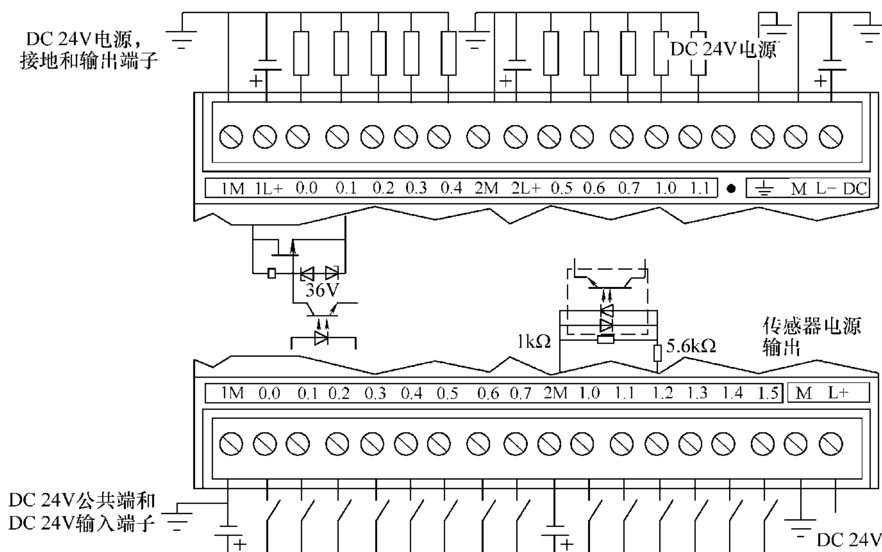


图 2-9　电路接线图

（1）中央处理单元（CPU）

CPU 即中央处理器，是 PLC 的核心和控制指挥中心，它在系统程序的控制下，完成逻辑运算、数学运算、协调系统内部各部分工作等任务。

1）CPU 的主要功能有：接收输入信号并存入存储器，读出指令，执行指令将结果输出，处理中断请求，准备下一条指令。

在系统程序的控制下，①诊断电源、PLC 内部电路工作状态；②接收、诊断并存储从编程器输入的用户程序和数据；③用扫描方式接收现场输入装置的状态或数据，并存入输入映像寄存器或数据寄存器。

在 PLC 进入运行状态后，①从存储器中逐条读取用户程序；②按指令规定的任务，产生相应的控制信号，去启闭有关控制门电路，分时分渠道地去执行数据的存取、传送、组合、比较和变换等动作；③完成用户程序中规定的逻辑或算术运算等任务。

根据运算结果，更新有关标志位的状态和输出映像寄存器的内容，实现输出控制、制表、打印或数据通信等。

2）PLC 采用的 CPU 一般有三大类：

① 通用微处理器，如 80286、80386 等。

② 单片机芯片，如 8031、8096 等。

③ 位处理器，如 AMD2900、AMD2903 等。

（2）存储器

PLC 是工业控制计算机，除了硬件以外，还必须有软件才能正常工作。存储器为记忆性部件，用于存放系统程序、用户程序及运算数据的单元。根据存储器在系统中的作用，PLC 的存储器可以分为系统程序存储器、用户程序存储器、工作数据存储器。PLC 的存储器区域按用途不同，又可分为程序区及数据区。

1）系统程序存储器（ROM 区）。系统程序存储器即只读存储器（ROM），用于储存 PLC 产品生产厂编写的各种系统工作程序，用户不能更改或调用。用来存放系统工作程序、模块化应用功能子程序、命令解释、功能子程序的调用管理程序以及按对应定义存储各种系统参数（I/O、内部继电器、计时/计数器、数据寄存器等）等功能。只读存储器又分为掩膜只读存储器和电可擦除只读存储器。

系统程序存储器是对整个 PLC 系统进行调度、管理、监视及服务的程序，控制和完成 PLC 各种功能。

2）用户程序存储器（RAM 区）。用户程序存储器即随机读写存储器（RAM），其特点是写入与擦除都很容易，但在掉电情况下存储的数据就会丢失。用来储存用户编写的控制程序和用户数据，该区域用户可读可写，可随意增加或删减。在 PLC 中一般采用锂电池对用户程序进行掉电保护（一般能保持 5 ~10 年，经常带负载可保存 2 ~5 年）。

用户程序是用户在各自的控制系统中开发的程序。用来存放用户程序及系统运行中产生的临时数据，大都存放在 RAM 存储器中。使用者可对用户程序进行修改。

（3）输入/输出接口电路

输入/输出接口电路（I/O）是 PLC 与现场 I/O 设备相连接的部件，主要是 PLC 与工业生产现场之间的连接部件。PLC 将输入信号转换为 CPU 能够接收和处理的信号，通过用户程序的运算，把结果通过输出模块输出给执行机构。输入接口用来接受生产过程的各种参

数。输出接口用来送出可编程序控制器运算后得出的控制信息，并通过机外的执行机构完成工业现场的各类控制。

生产现场对可编程序控制器接口的要求是：一要有较好的抗干扰能力，二是能满足工业现场各类信号的匹配要求，因此厂家为可编程序控制器设计了不同的接口单元。

由于外部输入设备和输出设备所需的信号电平是多种多样的，而 PLC 内部 CPU 的处理的信息只能是标准电平，所以 I/O 接口要实现转换。I/O 接口一般都具有光电隔离和滤波功能，以提高 PLC 的抗干扰能力。另外，I/O 接口上通常还有状态指示，工作状况直观，便于维护。

PLC 提供了多种操作电平和驱动能力的 I/O 接口，有各种各样功能的 I/O 接口供用户选用。I/O 接口的主要类型有数字量（开关量）输入、数字量（开关量）输出、模拟量输入、模拟量输出等。

1）输入接口电路。输入接口电路的作用是将来自现场设备的输入信号通过电平变换、速度匹配、信号隔离和功率放大，转换成可供 CPU 处理的标准电平信号。图 2-10 所示为 PLC 产品中常见的一种直流输入端内部接线示意图。PLC 输入电路中有光隔离器、RC 滤波器，用以消除输入抖动和外部噪声干扰。当输入器件被激励时，一次电路中流过电流，输入指示灯亮，光耦合器接通，晶体管从截止状态变为饱和导通状态，这是一个数据输入的过程。+24V端子仍需接 24V 电源，输入按钮或开关则可直接连在输入端子和 COM 端之间，电路更为简单。只要程序运行，PLC 内部就可以识别输入端子和 COM 之间的通或断。

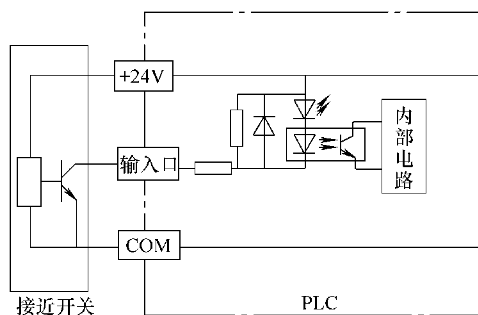


图 2-10 直流 +24V 输入端内部接线示意图

① 开关量输入接口，其作用是把现场的开关量信号变成 PLC 内部处理的标准信号。常用的开关量输入接口按其使用外信号的电源不同有三种类型：直流输入接口、交流输入接口和交/直流输入接口，如图 2-11 ~ 图 2-13 所示。

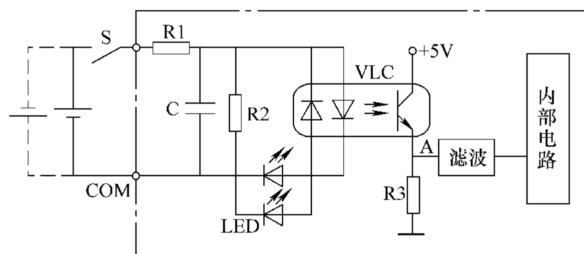


图 2-11 直流输入电路

作为直流开关输入接口电路，可接入直流 80 ~ 150V 的电压。若为交流开关信号输入接口电路，可接入交流 97 ~ 132V、50 ~ 60Hz 的电压。电路中 R1 和 R2 为分压电路，电容 C 为抗干扰电容，R3 为限流电阻，光隔离器起到隔离及耦合的双重作用。

输入接口中都有滤波电路及耦合隔离电路，滤波有抗干扰的作用，耦合有抗干扰及产生

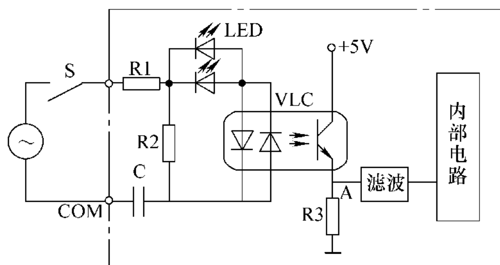


图 2-12　交流输入电路

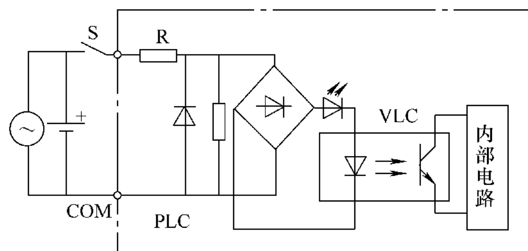


图 2-13　交/直流输入电路

标准信号的作用。

② 模拟量输入接口。其作用是把现场连续变化的模拟量标准电压或电流信号转换成适合 PLC 内部处理的二进制数字信号。标准信号是指符合国际标准的通用交互用电压电流信号值，如 4 ~20mA 的直流电流信号、1 ~10V 的直流电压信号等。

工业现场中模拟量信号的变化范围一般是不标准的，在送入模拟量接口时一般都需经过变送处理才能使用。图 2-14 所示是模拟量输入接口的内部电路框图。模拟量信号输入后一般经运算放大器放大后进行 A/D 转换，再经光耦合后为 PLC 提供一定位数的数字量信号。

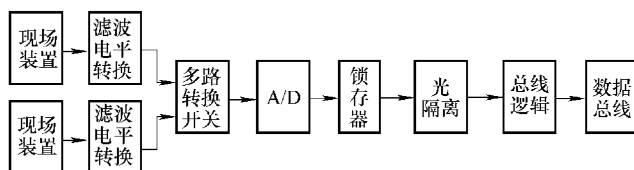


图 2-14　模拟量输入接口的内部电路框图

2）输出接口电路。输出接口电路的作用是将 CPU 的程序运行结果经过电平转换、隔离和功率放大，转换成能带一定负载的具体的输出状态。基本单元上的输出信号一般为开关量，输出接口电路分继电器输出型、晶体管输出型和晶闸管输出型三种，如图 2-15 ~ 图 2-17所示。

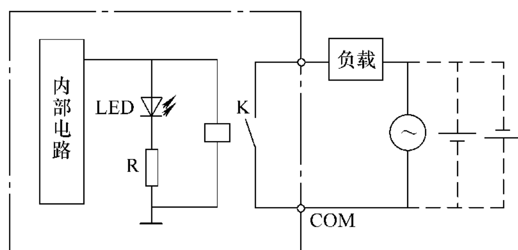


图 2-15　继电器输出电路

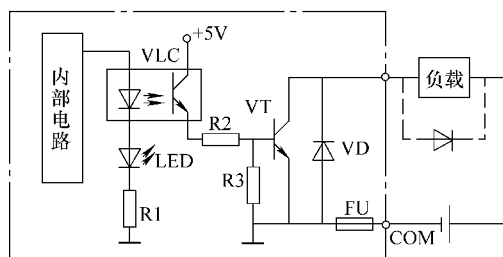


图 2-16　晶体管输出电路

继电器触点的状态对应于 PLC 程序中输出继电器的状态。该接口电路在使用时必须要外加电源。继电器输出接口电路具有适用于交、直流负载且带负载能力强等优点，缺点是动

作及响应速度相对较慢。

通过控制晶体管 VT 的导通和截止控制负载电源。VD 为晶体管的极间保护二极管。晶体管输出单元具有动作频率高、响应速度快的特点，其缺点是只能接直流负载且带负载能力较差。

控制双向晶闸管将用户交流电源接入负载。图 2-17 中 R2、C 为高频滤波电路。浪涌电流吸收器起到限幅作用，可以减小噪声干扰的影响。晶闸管输出单元适用交流负载，具有响应速度快且带负载能力强的特点。

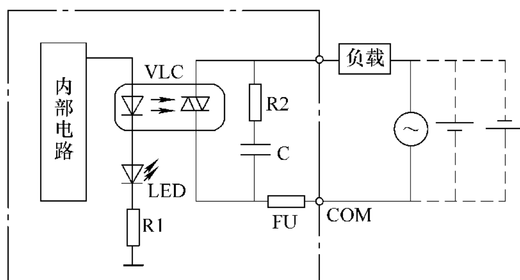


图 2-17　晶闸管输出电路

输出接口电路的特点：继电器输出接口可驱动交流或直流负载，但其响应时间长，动作频率低，输出可靠性高，价格低，适用电压范围广；但因为有触点输出，尤其在感性负载时继电器触点寿命较短，动作响应时间较长（10ms 以下），因而不适应要求高速通断、快速响应的工作场合。而晶体管输出和双向晶闸管输出接口的响应速度快，动作频率高，但前者只能用于驱动直流负载，后者只能用于驱动交流负载。晶体管和双向晶闸管输出过载、过电压能力较差，价格高，因而适应于要求高速通断、快速响应的工作场合。

模拟量输出接口：它的作用是将可编程序控制器运算处理后的若干位数字量信号转换为相应的模拟量信号输出，以满足生产过程现场连续控制信号的需要。模拟量输出接口一般由光隔离、D/A 转换和信号驱动等环节组成，如图 2-18 所示。

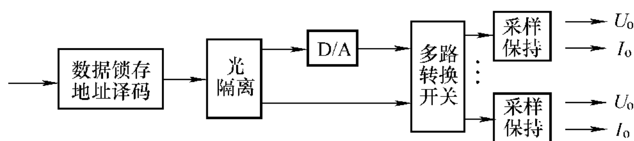


图 2-18　模拟量输出电路框图

模拟量输入/输出接口一般安装在专门的模拟量工作单元上。

3）智能输入/输出接口。为了适应较复杂的控制需要，PLC 还有一些智能控制单元，如 PID（Proportional Integral Derivative，比例积分微分）工作单元、高速计数器工作单元、温度控制单元等。这类单元大多是独立的工作单元。它们和普通输入/输出接口的区别在于它们一般带有单独的 CPU，有专门的处理能力。在具体的工作中，每个扫描周期智能单元和主机的 CPU 交换一次信息，共同完成控制任务。从目前的发展来看，不少新型的可编程序控制器本身也带有 PID 功能及高速计数器接口，但它们的功能一般比专用单元的功能要弱。

当 PLC 的输入端有一个输入信号发生变化后到 PLC 的输出端对该输入信号的变化做出反应，需要一段时间，这段时间称为响应时间或滞后时间。滞后时间的长短与以下因素有关：

① 输入滤波器对信号的延迟作用；

② 输出继电器的动作延迟；

③ PLC 的循环扫描工作方式；

④ 用户程序中语句的编排，程序的优化。

4）通信接口。PLC 配有各种通信接口，这些通信接口一般都带有通信处理器。PLC 通过这些通信接口可与监视器、打印机、其他 PLC、计算机等设备实现通信。PLC 与打印机连接，可将过程信息、系统参数等输出打印；与监视器连接，可将控制过程图像显示出来；与其他 PLC 连接，可组成多机系统或连成网络，实现更大规模控制；与计算机连接，可组成多级分布式控制系统，实现控制与管理相结合。

远程 I/O 系统也必须配备相应的通信接口模块。

（4）电源

在 PLC 中，为避免电源间干扰，输入与输出接口电路的电源彼此相互独立。小型 PLC 电源往往和 CPU 单元合为一体，中大型 PLC 都有专门的电源单元。直流电源常采用开关稳压电源，稳压性能好、抗干扰能力强，不仅可提供多路独立的电压供内部电路使用，而且还可为输入设备提供标准电源。可编程序控制器的电源包括为可编程序控制器各工作单元供电的开关电源以及为掉电保护电路供电的后备电源，后备电源一般为电池。

（5）I/O 扩展接口

每个系列的 PLC 产品都有一系列与基本单元相匹配的扩展单元，以便根据所控制对象的控制规模大小来灵活组成电气控制系统。扩展单元内部不配备 CPU 和存储器，仅扩展输入/输出电路，各扩展单元的输入信息经扩展连接电缆进入主机总线，由主机的 CPU 统一处理，执行程序后，需要输出的信息也由扩展连接电缆送至各扩展单元的输出电路。PLC 处理模拟量输入/输出信号时，要使用模拟量扩展单元，这时的输入接口电路为 A/D 转换电路，输出接口电路为 D/A 转换电路。

（6）编程器

编程器是 PLC 的重要外围设备。编程器除了编程以外，还具有一定的调试及监控功能，能实现人机对话操作。

可编程序控制器的编程设备一般有两类：一类是专用的编程器，有手持式的，其优点是携带方便，也有台式的，有的 PLC 机身上自带编程器；另一类是个人计算机。编程器的功能是完成用户程序的编制、编辑、输入主机、调试和执行状态监控，是 PLC 系统故障分析和诊断的重要工具。

PLC 的编程器主要由键盘、显示屏、工作方式选择开关和外存储器接口等部件组成，按功能可分为简易型和智能型两大类。

简易型编程器只能联机编程，而且不能直接输入和编辑梯形图程序，需将梯形图程序转化为指令表程序才能输入。简易型编程器体积小、价格便宜，它可以直接插在 PLC 的编程插座上，或者用专用电缆与 PLC 相连，以方便编程和调试。有些简易型编程器带有存储盒，可用来储存用户程序，如三菱的 FX－20P 简易型编程器，如图 2-19 所示。

智能型编程器又称图形编程器，本质上它是一台专用便携式计算机，如三菱的 GP－80FX－E 智能型编程器。它既可联机编程，又可脱机编程。可直接输入和编辑梯形图程序，使用更加直观、方便，但价格较高，操作也比较复杂。大多数智能型编程器带有磁盘驱动器，提供录音机接口和打印机接口。它的优点是在编程及修改程序时，可以不影响 PLC 机

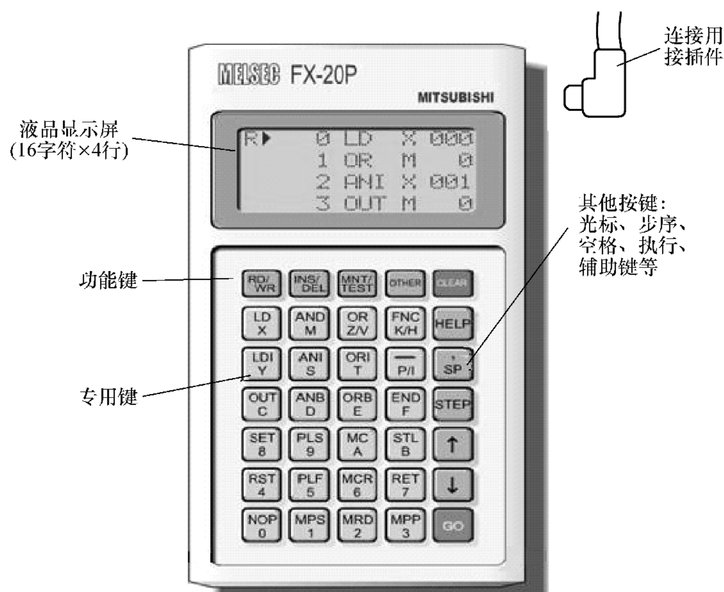


图 2-19　手持编程器

内原有程序的执行，也可以在远离主机的异地编程后再到主机所在地下载程序。

专用编程器只能对指定厂家的几种 PLC 进行编程，使用范围有限，价格较高。同时，由于 PLC 产品不断更新换代，所以专用编程器的生命周期也十分有限。因此，现在的趋势是使用以个人计算机为基础的编程装置，用户只要购买 PLC 厂家提供的编程软件和相应的硬件接口装置。这样，用户只用较少的投资即可得到高性能的 PLC 程序开发系统。

基于个人计算机的程序开发系统功能强大。它既可以编制、修改 PLC 的梯形图程序，又可以监视系统运行、打印文件、系统仿真等。配上相应的软件还可实现数据采集和分析等许多功能。在个人计算机上运行 PLC 相关的编程软件即可完成编程任务。借助软件编程比较容易，一般是编好了以后再下载到 PLC 中去。

由于 PLC 产品一般在程序调试或需要监控时才插上编程器，当电气控制系统正常运行时不必使用编程器，所以目前对 PLC 编程在许多场合采用了个人电脑（装载专用编程软件）加 PC－PLC 专用连接电缆，而不使用专用编程器的编程方法，即用计算机键盘通过屏幕对话完成图形编程、图形显示、通信联网、修改调试、输出打印等任务。目前各 PLC 公司均开发有相应的编程软件。另外，利用个人计算机还可以运行更多的工业控制软件。

1）在线（联机）方式。将编程器与 PLC 的专用插座直接相连，或和专用的接口相连，可将用户程序直接写入到 PLC 的用户存储器中。也可将程序先存在编程器的存储器中，然后再转入 PLC 的用户存储器中。这种编程方式有利于程序的调试和修改，并可以监视 PLC 内部器件的工作状态。

2）离线（脱机）编程方式。将程序写入到编程器的存储器中，联机后再将程序送到 PLC 的用户程序存储器中。离线编程不影响 PLC 的工作。

（7）外部设备接口

外部设备接口是指在主机外壳上与外部设备配接的插座。通过人/机接口装置、电缆可

配接编程器、计算机、打印机、EPROM 写入器、条码判读器等。

人/机接口装置是用来实现操作人员与 PLC 控制系统的对话。最简单、最普遍的人/机接口装置由安装在控制台上的按钮、转换开关、拨码开关、指示灯、LED 显示器、声光报警器等器件构成。对于 PLC 系统，还可采用半智能型 CRT 人/机接口装置和智能型终端人/机接口装置。半智能型 CRT 人/机接口装置可长期安装在控制台上，通过通信接口接收来自 PLC 的信息并在 CRT 上显示出来；而智能型终端人/机接口装置有自己的微处理器和存储器，能够与操作人员快速交换信息，并通过通信接口与 PLC 相连，也可作为独立的节点接入 PLC 网络。

图 2-20 所示为三菱 FX2N 小型 PLC 产品主机及扩展单元示意图。其中 FX2N－32MR 为基本单元，带有 32 个 I/O 点（16 入 16 出），M 表示主机，R 表示该单元为继电器输出型；FX2N－32ER 为 32 点开关量扩展单元，E 表示该单元为扩展单元；FX2N－2AD 为两路模拟量输入扩展单元；FX2N－2DA 为两路模拟量输出扩展单元。PLC 产品的扩展单元种类很多，扩展单元的功能及与主机的配合细节可查阅有关手册。

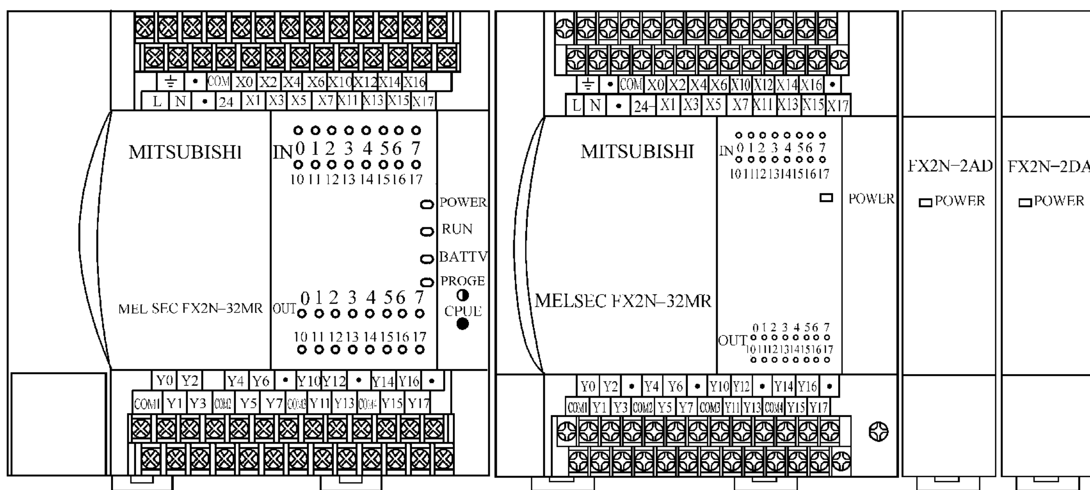


图 2-20　三菱 FX2N 小型 PLC 产品主机及扩展单元示意图

PLC 的其他外围设备：

1）盒式磁带机，用以记录程序或信息；

2）打印机，用以打印程序或制表；

3）EPROM 写入器，用以将程序写入用户 EPROM 中；

4）高分辨率大屏幕彩色图形监控系统，用以显示或监视有关部分的运行状态。

2. 系统软件

PLC 是一种工业控制计算机，与计算机一样，PLC 的软件也分为系统软件和应用软件。

系统软件包含系统管理程序、用户指令的解释程序，另外还包括一些供系统调用的专用标准程序块等。系统管理程序用以完成机内运行相关时间分配、存储空间分配管理及系统自检等工作。用户指令的解释程序用以完成用户指令变换为机器码的工作。系统软件在用户使用 PLC 之前就已装入机内，并永久保存，在各种控制工作中并不需要做什么调整。

PLC 的系统软件也有人称为 PLC 的操作系统。它是每台可编程序控制器都必须包括的部分，用于控制 PLC 本身的运行，是由 PLC 制造厂家编制的。

应用软件，又叫用户软件，是用户为达到某种控制目的、采用 PLC 厂家提供的编程语言自主编制的程序。

PLC 编程语言是编制 PLC 应用软件的工具。它是以 PLC 的输入接口、输出接口、机内元件进行逻辑组合以及数量关系实现系统的控制要求，并存储在机内的存储器中。

根据控制要求使用导线连接继电—接触器来确定控制器件间逻辑关系的方式叫做接线逻辑。

用预先存储在 PLC 内的程序实现某种控制功能，就是人们所指的存储逻辑。

PLC 的主要逻辑部件：

1）继电器逻辑：在 PLC 中用逻辑与、逻辑或、逻辑非等逻辑运算来处理各种继电器的连接。PLC 内部存储单元与继电器的对应关系：1 表示 ON，0 表示 OFF。

PLC 为用户提供以下几种继电器：

① 输入继电器：是输入到 PLC 中的现场信号，在使用中不必考虑触点的容量。

② 输出继电器：具有一对物理触点，可以串接在负载回路中。

③ 内部继电器：它与外界没有联系，仅做运算的中间结果使用，有时也称作辅助继电器或中间继电器。

2）定时器逻辑：PLC 采用硬件定时中断、软件递减计数的方法来实现定时逻辑功能，如表 2-1 所示。

表 2-1　定时器逻辑功能

<table>
<tr><th rowspan="2">定时条件</th><th colspan="2">定时器</th><th rowspan="2">定时继电器</th></tr>
<tr><th>当前值</th><th>操作</th></tr>
<tr><td>OFF</td><td>等于设定值</td><td>不操作</td><td>OFF</td></tr>
<tr><td>ON</td><td>≠0</td><td>计时</td><td>OFF</td></tr>
<tr><td>ON</td><td>=0</td><td>不操作</td><td>ON</td></tr>
</table>

3）计数器逻辑：PLC 中计数器的功能是由软件来实现的，一般采用递减计数，如表 2-2 所示。

表 2-2　计数器逻辑功能

<table>
<tr><th rowspan="2">复位信号</th><th rowspan="2">计数信号</th><th colspan="2">计数器</th><th rowspan="2">计数继电器</th></tr>
<tr><th>当前值</th><th>操作</th></tr>
<tr><td>ON</td><td>×</td><td>=0</td><td>不计数</td><td>OFF</td></tr>
<tr><td rowspan="3">OFF</td><td rowspan="2"></td><td>≠设定值</td><td>+1</td><td>OFF</td></tr>
<tr><td>=设定值</td><td>不计数</td><td>ON</td></tr>
<tr><td></td><td>不变</td><td>不计数</td><td>不变</td></tr>
</table>

4）触发器逻辑：触发器逻辑是用来记忆某些信息，该触发器逻辑可以被置位成 1，也可以被复位成 0。

触发器有置位输入（S）和复位输入（R）。逻辑功能如表 2-3 所示。

表 2-3　触发器逻辑功能

置位输入（S）	复位输入（R）	触发器
OFF	OFF	不变
OFF	ON	OFF
ON	OFF	ON
ON（先）	ON（后）	OFF（复位优先）
ON（后）	ON（先）	ON（置位优先）

5）数据寄存器：PLC 除能进行位运算以外，还能进行字运算。PLC 为用户提供了若干个数据寄存器，以存放数据，实现运算功能。

图 2-21 所示例子给出了实现多地点控制异步电动机起/停的继电器接触器控制电路图、用三菱公司 FX2N－16MR 型 PLC 实现该功能的接线图、梯形图和指令表程序，以实现多地点控制异步电动机起/停。

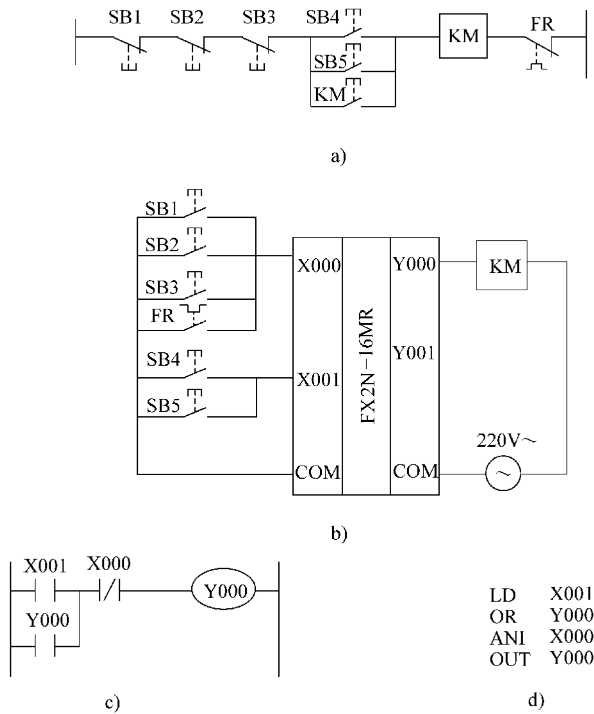


图 2-21　实现多地点控制异步电动机起/停的 PLC 控制方案及程序

a）多地点控制异步电动机起/停的继电接触控制电路图　b）PLC 实现多地点控制异步电动机起/停接线图
c）实现多地点控制异步电动机起/停梯形图　d）实现多地点控制异步电动机起/停程序

2.2　PLC 的工作原理

PLC 的工作原理与计算机的工作原理基本上是一致的，可以简单地表述为在系统程序的管理下，通过运行应用程序完成用户任务。PLC 的工作方式与个人计算机有所不同，PLC 是在确定了工作任务，装入了专用程序后成为一种专用机，采用循环扫描的工作方式，系统工作任务管理及应用程序执行都是以循环扫描方式完成的。

当 PLC 运行时，是通过执行反映控制要求的用户程序来完成控制任务的，需要执行众多的操作，但 CPU 不可能同时去执行多个操作，它只能按分时操作（串行工作）方式，每一次执行一个操作，按顺序逐个执行。由于 CPU 的运算处理速度很快，所以从宏观上来看，PLC 外部出现的结果似乎是同时（并行）完成的。这种串行工作过程称为 PLC 的扫描工作方式。

用扫描工作方式执行用户程序时，扫描是从第一条程序开始，在无中断或跳转控制的情况下，按程序存储顺序的先后，逐条执行用户程序，直到程序结束。然后再从头开始扫描执行，周而复始重复运行。

PLC 的扫描工作方式与继电器控制的工作原理明显不同。继电器控制装置采用硬逻辑的并行工作方式，如果某个继电器的线圈通电或断电，那么该继电器的所有常开和常闭触点不论处在控制电路的哪个位置上，都会立即同时动作；而 PLC 采用扫描工作方式（串行工作方式），如果某个软继电器的线圈被接通或断开，其所有的触点不会立即动作，必须等扫描到该线圈时才会动作。但由于 PLC 的扫描速度快，通常 PLC 与继电器控制装置在 I/O 的处理结果上并没有什么差别。

2.2.1　PLC 的工作方式

PLC 的扫描工作过程除了执行用户程序外，在每次扫描工作过程中还要完成内部处理、通信服务工作。PLC 是采用循环扫描的工作方式，在 PLC 执行用户程序时，CPU 对梯形图自上而下、自左向右逐次进行扫描，程序的执行是按语句排列的先后顺序进行的。整个扫描工作过程包括内部处理、通信服务、输入采样、程序执行、输出刷新五个阶段。整个过程扫描执行一遍所需的时间称为扫描周期。扫描周期与 CPU 运行速度、PLC 硬件配置及用户程序长短有关，典型值为 1 ~ 100ms。

2.2.2　扫描过程

PLC 的循环扫描工作方式可以看成是一种由系统软件支持的扫描设备，不论用户程序运行与否，CPU 都要周而复始地进行循环扫描，并执行系统程序所规定的任务。每一个循环所经历的时间为一个扫描周期。每个扫描周期又分为几个工作阶段，每个工作阶段完成不同的任务。

从第一条指令开始，按顺序逐条地执行用户程序，直至遇到结束符，完成一次扫描，然后再返回第一条指令，开始新一轮扫描，这样周而复始地反复进行。PLC 每进行一次扫描循环所用的时间称为扫描周期。通常一个扫描周期约为几十毫秒。PLC 采用循环扫描的工作方式，包括内部处理、通信服务、输入处理、程序执行、输出处理几个阶段。当处于 RUN 状

态时，上述扫描周期不断循环。也可以把扫描周期简化为读输入、执行用户程序和写输出三个阶段。

1. 采用循环扫描工作方式

系统周而复始地依一定的顺序完成一系列的具体的工作，这种工作方式叫做循环扫描工作方式。

这些工作都是分时完成的。每项工作又都包含着许多具体的工作，以用户程序的完成来说又可分为以下三个阶段。PLC 上电后首先进行初始化，然后进入循环扫描工作过程，PLC 在运行状态，采用周期循环扫描方式执行用户程序，一个用户程序的扫描周期由三个阶段构成，如图 2-22 所示。

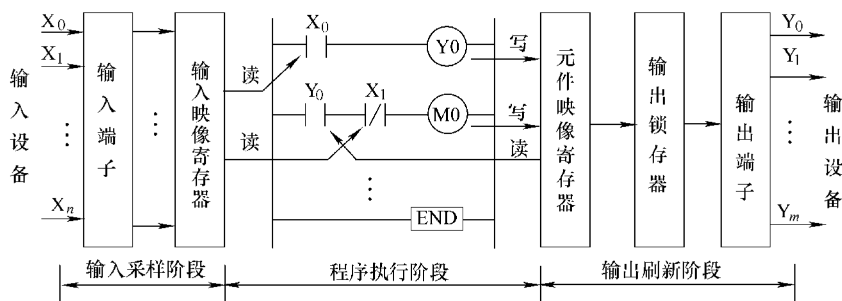


图 2-22　PLC 执行程序过程示意图

（1）输入采样阶段

在这个阶段中，可编程序控制器读入输入接口的状态，并将它们存放在输入数据暂存区中。

输入处理阶段之后，即使输入接口状态有变化，输入数据暂存区中的内容也不变，直到下一个周期的输入处理阶段，才读入这种变化。

本阶段检测每个输入触点的状态（通为 1，断为 0），然后顺序存入输入映像寄存器。

（2）程序执行阶段

对用户梯形图程序按先左后右、从上到下的顺序，逐句执行指令，包括从输入映像寄存器和各种内部寄存器中读取状态和数据，完成程序要求的运算和把结果写入有关内部寄存器或输出继电器。在这个阶段中，PLC 根据本次读入的输入数据，依用户程序的顺序逐条执行用户程序。执行的结果均存储在输出状态暂存区中。

（3）输出刷新阶段

这是一个程序执行周期的最后阶段。PLC 将本次用户程序的执行结果一次性地从输出状态暂存区送到各个输出接口，对输出状态进行刷新。

将输出继电器状态输出至输出锁存器，经隔离、功放、输出端子去驱动负载。

程序执行一次的时间称为扫描周期，一个扫描周期可以分为上述输入采样、程序执行、输出刷新三个阶段，小型 PLC 的扫描周期在十几毫秒至几十毫秒之间。

以上三个阶段是分时完成的。为了连续地完成 PLC 所承担的工作，系统必须周而复始地依一定的顺序完成这一系列的具体工作。这种工作方式叫做循环扫描工作方式。

2. 扫描周期及 PLC 的两种工作状态

PLC 有两种基本的工作状态，即运行（RUN）状态和停止（STOP）状态。运行状态是执行应用程序的状态。停止状态一般用于程序的编制与修改。图 2-23 给出了运行和停止两种状态 PLC 不同的扫描过程。在这两个不同的工作状态中，扫描过程所要完成的任务是不尽相同的。



图 2-23　扫描过程示意图

在内部处理阶段，进行 PLC 自检，检查内部硬件是否正常，对监视定时器（WDT）复位以及完成其他一些内部处理工作。

在通信服务阶段，PLC 与其他智能装置实现通信，响应编程器输入的命令，更新编程器的显示内容等。

当 PLC 处于停止（STOP）状态时，只完成内部处理和通信服务工作。当 PLC 处于运行（RUN）状态时，除完成内部处理和通信服务工作外，还要完成输入采样、程序执行、输出刷新工作。

PLC 的扫描工作方式简单直观，便于程序的设计，并为可靠运行提供了保障。当 PLC 扫描到的指令被执行后，其结果立即就被后面将要扫描到的指令所利用，而且还可通过 CPU 内部设置的监视定时器来监视每次扫描是否超过规定时间，避免由于 CPU 内部故障使程序执行进入死循环。

3. PLC 扫描工作方式的特点

（1）特点：集中采样、集中输出、循环扫描

1）集中采样：对输入状态的扫描只在输入采样阶段进行，即在程序执行阶段或输出刷新阶段，即使输入端状态发生变化，输入映像寄存器的内容也不会改变，只有到下一个扫描周期的输入处理阶段才能被读入（响应滞后）。

2）集中输出：在一个扫描周期内，只有在输出处理阶段才将元件映像寄存器中的状态输出，在其他阶段，输出值一直保存在元件映像寄存器中。

在用户程序中，如果对输出多次赋值，则仅最后一次是有效的，即应避免双线圈输出。

（2）优点：提高系统的抗干扰能力

集中采样、集中输出的扫描工作方式使 PLC 在工作的大部分时间与外设隔离，从根本上提高了系统的抗干扰能力，增强了系统的可靠性。

（3）缺点：响应滞后，降低系统的响应速度

PLC 的输入/输出滞后时间又称为 PLC 系统响应时间。

1）输入模块滞后时间：输入模块 RC 滤波电路的时间常数，典型值为 10ms 左右。

2）输出模块滞后时间：可按不同的输出接口区分。

① 继电器型输出：10ms 左右。

② 晶闸管型输出：通电滞后时间约 1ms，断电滞时的最大滞后时间为 10ms。

③ 晶体管型输出：1ms 以下。

3）扫描工作方式引起的滞后时间最长可达两个扫描周期。

PLC 总的响应延迟时间一般为几十毫秒。但由于 PLC 的扫描速度极快，故对一般工业控制而言，此响应上的滞后完全允许。

注意：在中、大型 PLC 中所需处理的 I/O 点数较多，用户程序较长，还采用分时分批的扫描方式或中断等的工作方式，以缩短循环扫描的周期和提高实时控制的能力。

2.2.3　PLC 对输入/输出的处理

PLC 常见的输入设备有按钮、行程开关、接近开关、转换开关、拨码器、各种传感器等，输出设备有继电器、接触器、电磁阀等。正确地连接输入和输出电路，是保证 PLC 安全可靠工作的前提。

1. PLC 与常用输入设备的连接

（1）输入/输出接线方式

输入/输出接线方式分为汇点式输入接线和分隔式输入接线两种基本形式。汇点式输入接线是指输入回路有一个公共端（汇集端）COM，它可以是全部输入点为一组，并共用一个公共端和一个电源，如图 2-24a 所示的直流输入单元，其直流电源由 PLC 内部提供。汇点式输入接线方式也可以采用将全部输入点分为 N 组，每组有一个公共端和一个单独的电源，如图 2-24b 所示。汇点式输入接线方式可以用于直流也可以用于交流输入单元，交流输入单元的电源由用户提供。

分隔式输入接线方式是将每个输入点单独用各自的电源接入输入单元，在输入端没有公共的汇点，每个输入器件是隔离的，如图 2-24c 所示。输出接线方式分为汇点式和分隔式两种基本形式，如图 2-24d 所示。

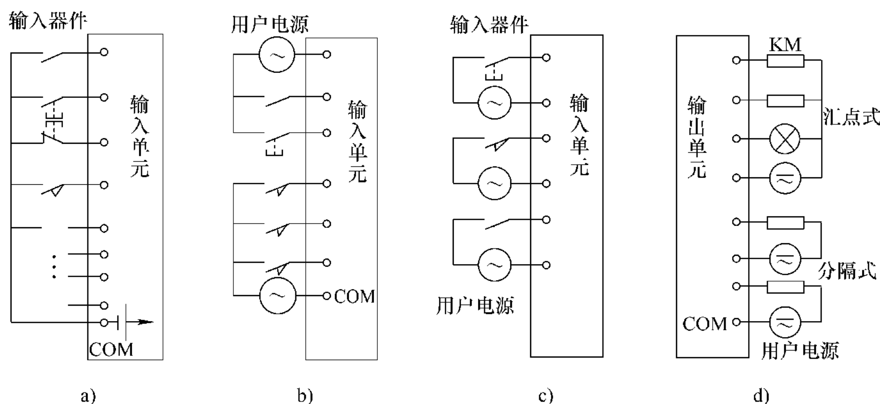


图 2-24　输入/输出单元接线方式

a）汇点式 1　b）汇点式 2　c）分隔式　d）分隔式、汇点式

（2）PLC 与输入设备的连接

1）PLC 与主令电器类设备的连接。图 2-25 所示是与按钮、行程开关、转换开关等主令电器类输入设备的接线示意图。其中的 PLC 为直流汇点式输入，即所有输入点共用一个公共端 COM，同时 COM 端内带有 DC24V 电源。若是分组式输入，也可参照分组的方法进行分组连接。

2）PLC 与拨码开关的连接。如果 PLC 控制系统中的某些数据需要经常修改，可使用多位拨码开关与 PLC 连接，在 PLC 外部进行数据设定。图 2-26 所示为一位拨码开关的示意图，一位拨码开关能输入一位十进制数的 0 ~ 9 或一位十六进制数的 0 ~ F。

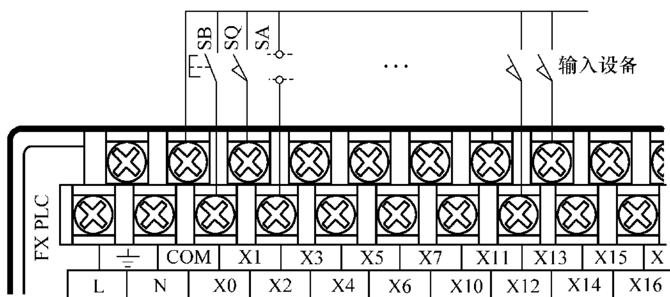


图 2-25　PLC 与主令电器类输入设备的接线示意图

图 2-27 所示 4 位拨码开关组装在一起，把各位拨码开关的 COM 端连在一起，接在 PLC 输入侧的 COM 端子上。每位拨码开关的 4 条数据线按一定顺序接在 PLC 的 4 个输入点上。由图可见，使用拨码开关要占用许多 PLC 输入点，所以不是十分必要的场合，一般不要采用这种方法。

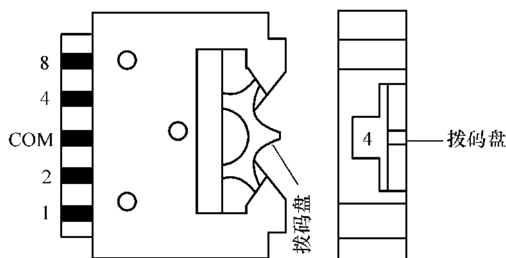


图 2-26　一位拨码开关的示意图

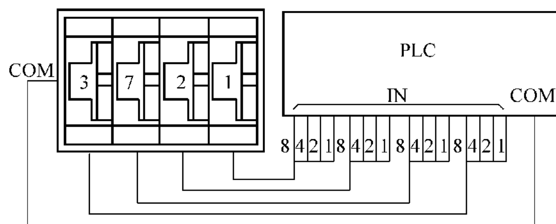


图 2-27　4 位拨码开关与 PLC 的连接

输入采用拨码开关时，可采用后文将要介绍的分组输入法或矩阵输入法，以提高 PLC 输入点的利用率。

3）PLC 与旋转编码器的连接。旋转编码器是一种光电式旋转测量装置，它将被测的角位移直接转换成数字信号（高速脉冲信号）。因些可将旋转编码器的输出脉冲信号直接输入给 PLC，利用 PLC 的高速计数器对其脉冲信号进行计数，以获得测量结果。不同型号的旋转编码器，其输出脉冲的相数也不同，有的旋转编码器输出 A、B、Z 三相脉冲，有的只有 A、B 两相，最简单的只有 A 相。

图 2-28 所示是输出两相脉冲的旋转编码器与 FX 系列 PLC 的连接示意图。编码器有 4 条引线，其中 2 条是脉冲输出线，1 条是 COM 端线，1 条是电源线。编码器的电源可以是外接电源，也可直接使用 PLC 的 DC24V 电源。电源“－”端要与编码器的 COM 端连接，“＋”端与编码器的电源端连接。编码器的 COM 端与 PLC 输入 COM 端连接，A、B 两相脉冲输出线直接与 PLC 的输入端连接，连接时要注意 PLC 输入的响应时间。有的旋转编码器还有一条屏蔽线，使用时要将屏蔽线接地。

4）PLC 与传感器类设备的连接。传感器的种类很多，其输出方式也各不相同。当采用接近开关、光电开关等两线式传感器时，由于传感器的漏电流较大，可能出现错误的输入信号而导致 PLC 的误动作，此时可在 PLC 输入端并联旁路电阻 R，如图 2-29 所示。当漏电流不足 1mA 时可以不考虑其影响。

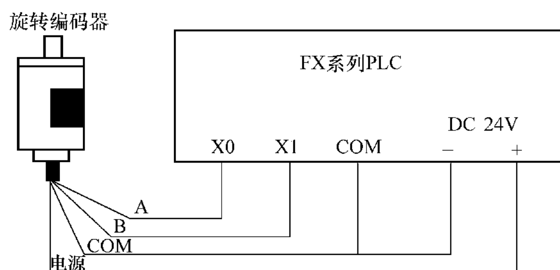


图 2-28　旋转编码器与 FX 系列 PLC 的连接示意图

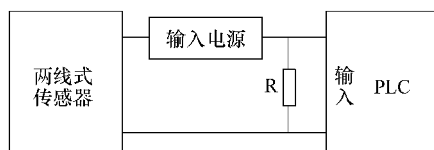


图 2-29　PLC 与两线式传感器的连接

旁路电阻 R（kΩ）的估算公式如下：

$$R < \frac{R_C \times U_{OFF}}{I \times R_C - U_{OFF}}$$

式中，I 为传感器的漏电流（mA）；U_{OFF} 为 PLC 输入电压低电平的上限值（V）；R_C 为 PLC 的输入阻抗（kΩ），R_C 的值根据输入点不同有差异。

（3）PLC 与常用输出设备的连接

1）PLC 与输出设备的一般连接方法。PLC 与输出设备连接时，不同组（不同公共端）的输出点，其对应输出设备（负载）的电压类型、等级可以不同，但同组（相同公共端）的输出点，其电压类型和等级应该相同。要根据输出设备电压的类型和等级来决定是否分组连接。图 2-30 所示以 FX2N 为例说明 PLC 与输出设备的连接方法。图中接法是输出设备具有相同电源的情况，所以各组的公共端连在一起，否则要分组连接。图中只画出 Y0 ~ Y7 输出点与输出设备的连接，其他输出点的连接方法相似。

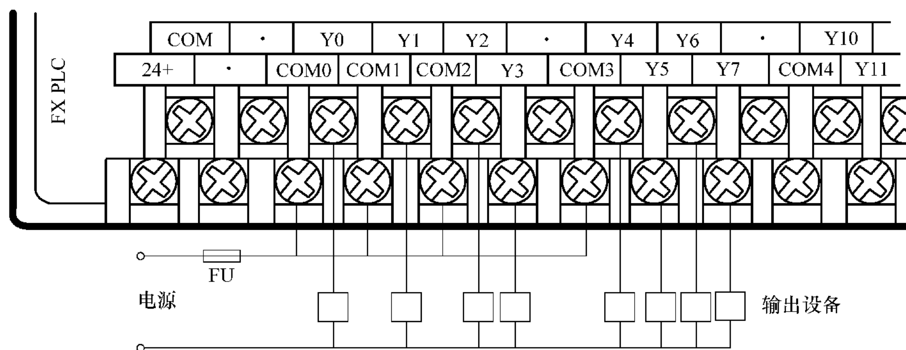


图 2-30　PLC 与输出设备的连接

2）PLC 与感性输出设备的连接。PLC 的输出端经常连接的是感性输出设备（感性负载），为了抑制感性电路断开时产生的电压使 PLC 内部输出元件造成损坏。因此当 PLC 与感性输出设备连接时，如果是直流感性负载，应在其两端并联续流二极管；如果是交流感性负载，应在其两端并联阻容吸收电路，如图 2-31 所示。

图 2-31 中，续流二极管可选用额定电流为 1A，额定电压大于电源电压的 3 倍；电阻值可取 50 ~ 120Ω；电容值可取 0.1 ~ 0.47μF，电容的额定电压应大于电源的峰值电压。接线时要注意续流二极管的极性。

3）PLC 与七段 LED 显示器的连接。PLC 可直接用开关量输出与七段 LED 显示器的连接，但如果 PLC 控制的是多位 LED 七段显示器，所需的输出点是很多的。

图 2-32 所示电路中，采用具有锁存、译码、驱动功能的芯片 CD4513 驱动共阴极七段 LED，两只 CD4513 的数据输入端 A ~ D 共用 PLC 的 4 个输出端，其中 A 为最低位，D 为最高位。LE 是锁存使能输入端，在 LE 信号的上升沿将数据输入端输入的 BCD 数锁存在片内的寄存器中，并将该数译码后显示出来。如果输入的不是十进制数，显示器熄灭。LE 为高电平时，显示的数不受数据输入信号的影响。显然，N 个显示器占用的输出点数为 $P = 4 + N$。

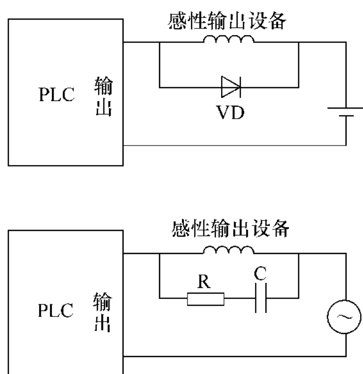


图 2-31　PLC 与感性输出设备的连接

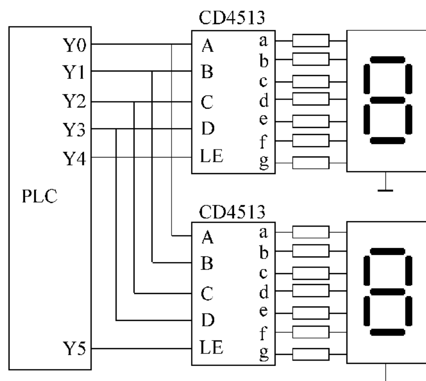


图 2-32　PLC 与两位七段 LED 的连接

如果 PLC 使用继电器输出模块，应在与 CD4513 相连的 PLC 各输出端接一下拉电阻，以避免在输出继电器的触点断开时 CD4513 的输入端悬空。PLC 输出继电器的状态变化时，其触点可能抖动，因此应先送数据输出信号，待该信号稳定后，再用 LE 信号的上升沿将数据锁存进 CD4513。

4）PLC 与输出设备连接的其他注意事项。

① 除了 PLC 输入和输出共用同一电源外，输入公共端与输出公共端一般不能接在一起。

② PLC 的晶体管和晶闸管型输出都有较大的漏电流，尤其是晶闸管输出，将可能会出现输出设备的误动作。所以要在负载两端并联一个旁路电阻，旁路电阻 R（kΩ）的阻值估算可由下式确定：

$$R < \frac{U_{\mathrm{ON}}}{I}$$

式中，U_{ON}是负载的开启电压（V）；I 是输出漏电流（mA）。

2. 开关量单元的接线方式

（1）开关量输入单元的接线方式

PLC 的输入器件的功率消耗都很小，一般可以采用 PLC 内部电源为其供电，也可以由外部设备供电。PLC 开关量输入端的接线如图 2-33 所示。

1）图中 • 表示空端子，勿接线。

2）PLC 输入端的 X0 ~ X3 采用汇点式接线方式。

3）X0 和 X1 接入传感器信号，其中 X0 端的传感器采用 PLC 内部的 DC 24V 提供工作电源，X1 端的传感器采用外部电源为其供电。

4）COM 端一般为机内电源的负极。当输入端接入的器件不是无源触点，而是某些传感器输出的电信号时，要注意传感器信号的极性，选择正确的电流方向接入电路。

5）对于在控制中不可能同时工作的开关信号，可以用一个输入端口接入，如图 2-33 中位置开关 SQ 的连接方法，这样可以节约 PLC 的输入端口。

6）PLC 输入端标记为 L 和 N 的端子，用于连接工频电源 AC 100 ~ 240V，是 PLC 的外接供电电源端。

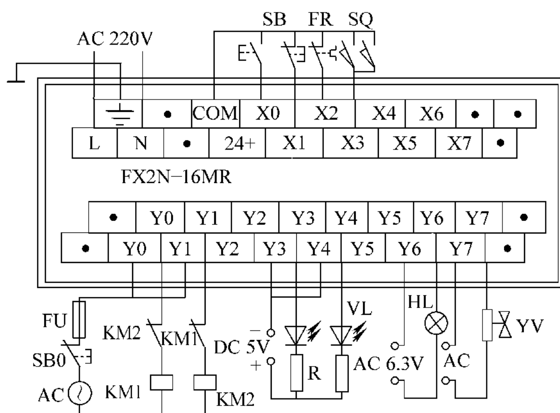


图 2-33　PLC 开关量输入端的接线

（2）开关量输出端口（继电器输出）的接线方式说明

FX 系列 PLC（继电器输出型）输出端负载的连接示意图如图 2-34 所示。

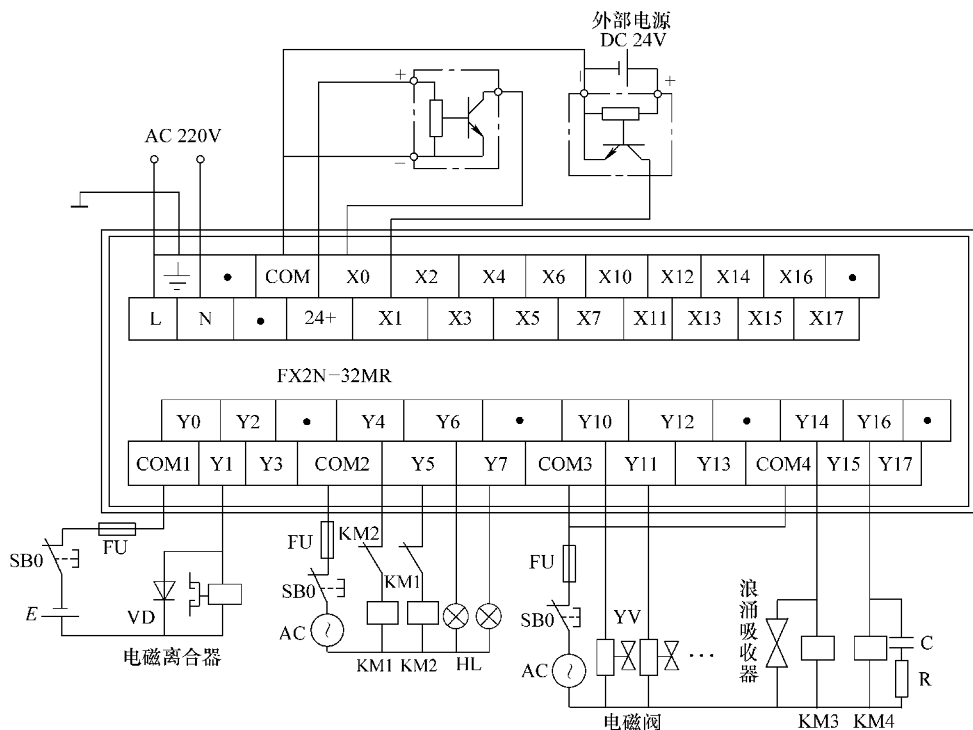


图 2-34　FX 系列 PLC 输出端负载的连接示意图

1）图中 • 表示空端子，勿接线。

2）由于 PLC 输出电路中未接熔断器，因此每四点应使用一个 5 ~ 15A 的熔断器 FU，用于防止因短路等原因造成损坏 PLC。

3）在直流感性负载的两端并联一个二极管 VD，用以延长触点的使用寿命，也可以并接 RC 放电支路。

4）电动机正/反转的接触器 KM1、KM2，在程序中采用软件互锁的同时，在外部也应采取硬件互锁措施。

5）外部开关 SB0 用于实现紧急停车。

6）在交流感性负载两端并联浪涌吸收器，可降低噪声。

7）输出端连接 LED 时，要根据外接电源电压的大小接入合适的限流电阻 R。

8）负载有两种连接方法，图中的 Y1 负载单独和 COM1 端连接称为分隔式连接方法。若需要采用不同的电源，则要采用分隔式的接线方式，如图 2-34 中的 Y6 和 Y7。若几个负载可以同时供电，则可采用汇点式连接的方法，如图 2-34 中的 Y4、Y5、Y6、Y7 和 Y10、Y11、Y14、Y16 的连接形式。

2.3 三菱 FX 系列 PLC

三菱公司的 PLC 是较早进入我国市场的产品，三菱公司的 PLC 主要有 F 系列、F1/F2 系列和 FX 系列。其小型机 F1/F2 系列是 F 系列的升级产品，早期在我国的销量也不小。F1/F2 系列加强了指令系统，增加了特殊功能单元和通信功能，比 F 系列有了更强的控制能力。继 F1/F2 系列之后，20 世纪 80 年代末三菱公司又推出 FX 系列，在容量、速度、特殊功能、网络功能等方面都有了全面的加强。FX2 系列是在 90 年代开发的整体式高功能小型机，它配有各种通信适配器和特殊功能单元。FX2N 几年前推出的高功能整体式小型机是 FX2 的换代产品，各种功能都有了全面的提升。近年来还不断推出满足不同要求的微型 PLC，如 FX0S、FX1S、FX0N、FX1N 及 α 系列等产品。

FX1S 系列是一种集成型小型单元式 PLC，且具有完整的性能和通信功能等扩展性，如果考虑安装空间和成本，是一种理想的选择。

FX1N 系列是三菱公司推出的功能强大的普及型 PLC。具有扩展输入/输出，模拟量控制和通信、链接功能等扩展性，是一款广泛应用于一般的顺序控制三菱 PLC。

FX2N 系列是 FX 家族中最先进的系列，具有高速处理及可扩展大量满足单个需要的特殊功能模块等特点，为工厂自动化应用提供最大的灵活性和控制能力。

FX3U 系列是三菱公司新近推出的新型第三代三菱 PLC，可能称得上是小型至尊产品，基本性能大幅提升，晶体管输出型的基本单元内置了 3 轴独立最高 100kHz 的定位功能，并且增加了新的定位指令，从而使得定位控制功能更加强大，使用更为方便。

FX1NC/FX2NC/FX3UC 系列三菱 PLC 在保持了原有强大功能的基础上实现了极为可观的规模缩小 I/O 型接线接口，降低了接线成本，并大大节省了时间。

三菱公司的大中型机有 A 系列、QnA 系列、Q 系列，具有丰富的网络功能，I/O 点数可达 8192 点。其中 Q 系列具有超小的体积、丰富的机型、灵活的安装方式、双 CPU 协同处理、多存储器、远程口令等特点，是三菱公司现有 PLC 中最高性能的 PLC。随着三菱公司在中国事业的快速发展，为了更好地满足国内用户对三菱 PLC Q 系列产品高性能、低成本的要求，特推出经济型 QUTESET 型三菱 PLC，即一款以自带 64 点高密度混合单元的 5 槽 Q00JCOUSET；另一款自带 2 块 16 点开关量输入及 2 块 16 点开关量输出的 8 槽 Q00JCPU -

S8SET，其性能指标与 Q00J COUSET 完全兼容，也完全支持 GX－Developer 等软件，故具有极佳的性价比。

Q 系列三菱 PLC 是三菱公司推出的大型 PLC，CPU 类型有基本型 CPU、高性能型 CPU、过程控制 CPU、运动控制 CPU、冗余 CPU 等，可以满足各种复杂的控制需求。

A 系列三菱 PLC 使用三菱专用顺控芯片（MSP），速度/指令可媲美大型三菱 PLC，A2ASCPU 支持 32 个 PID 回路。而 QnASCPU 的回路数目无限制，可随内存容量的大小而改变，程序容量由 8K 步至 124K 步，如使用存储器卡，QnASCPU 则内存量可扩充到 2MB。有多种特殊模块可选择，包括网络、定位控制、高速计数、温度控制等模块。

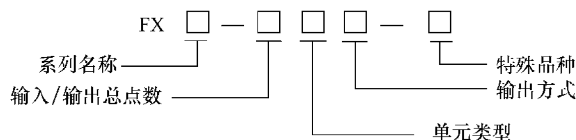
L 系列三菱 PLC 以 MELSEC 超长产品线中的稳定性著称。L 系列在其令人难以置信的小巧机身中集成了高性能、多功能性及大容量，即使在当今最为严苛的各项应用场合中也游刃有余。

MELSEC－L 系列极大地拓宽了功能性范围（这一点小型 PLC 通常难以做到），并充分运用以用户为中心的设计，使其在易用性方面取得了重大突破。

2.3.1　三菱 FX 系列硬件配置和技术指标

1. FX 系列基本单元型号名称体系形式说明

FX 系列 PLC 型号的含义如下：



其中系列名称，如 0、2、0S、1S、0N、1N、2N、2NC 等。

单元类型：M——基本单元；
E——输入/输出混合扩展单元；
EX——扩展输入模块；
EY——扩展输出模块；

输出方式：R——继电器输出；
S——晶闸管输出；
T——晶体管输出。

特殊品种：D——DC 电源，DC 输出；
A1——AC 电源，AC（100～120V）输入或 AC 输出模块；
H——大电流输出扩展模块；
V——立式端子排的扩展模块；
C——接插口输入/输出方式；
F——输入滤波时间常数为 1ms 的扩展模块。

如果特殊品种一项无符号，则为 AC 电源、DC 输入、横式端子排、标准输出。

例如，FX2N－32MT－D 表示 FX2N 系列，32 个 I/O 点基本单位，晶体管输出，使用直流电源，24V 直流输出型。

2. FX2N 系列基本单元型号名称体系形式

20 世纪 90 年代，三菱公司在 FX 系列 PLC 的基础上又推出了 FX2N 系列产品，该机型在运算速度、指令数量及通信能力方面有了较大的进步，是一种小型化、高速度、高性能、各方面都相当于 FX 系列中最高档次的超小型的 PLC。

FX2N 系列 PLC 由基本单元、扩展单元、扩展模块及特殊功能单元构成。基本单元（Basic Unit）包括 CPU、存储器、输入/输出口及电源，是 PLC 的主要部分。

扩展单元（Extension Unit）用于增加 I/O 点数的装置，内部设有电源。

扩展模块（Extension Module）用于增加 I/O 点数及改变 I/O 比例，内部无电源，由基本单元或扩展单元供电。

因扩展单元及扩展模块无 CPU，因此必须与基本单元一起使用。

特殊功能单元（Special Function Unit）是一些专门用途的装置，如位置控制模块、模拟量控制模块、计算机通信模块等。

FX2N 系列的基本单元型号名称体系形式如图 2-35 所示。

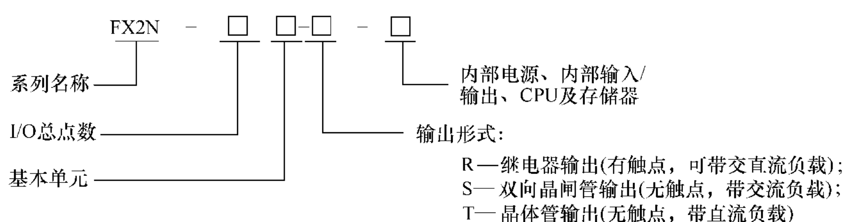


图 2-35　FX2N 系列的基本单元型号名称体系形式

3. FX 系列 PLC 硬件配置

FX 系列 PLC 的硬件包括基本单元、扩展单元、扩展模块、模拟量输入/输出模块、各种特殊功能模块及外部设备等。

不同厂家、不同系列的 PLC，其内部软继电器（编程元件）的功能和编号也不相同，因此用户在编制程序时，必须熟悉所选用 PLC 的每条指令涉及编程元件的功能和编号。

FX 系列中几种常用型号 PLC 的编程元件及编号如表 2-4 所示。FX 系列 PLC 编程元件的编号由字母和数字组成，其中输入继电器和输出继电器用八进制数字编号，其他均采用十进制数字编号。

表 2-4　FX 系列中几种常用型号 PLC 的编程元件及编号

PLC 型号 编程元件种类	FX0S	FX1S	FX0N	FX1N	FX2N （FX2NC）
输入继电器 X （按八进制编号）	X0 ~ X17 （不可扩展）	X0 ~ X17 （不可扩展）	X0 ~ X43 （可扩展）	X0 ~ X43 （可扩展）	X0 ~ X77 （可扩展）
输出继电器 Y （按八进制编号）	Y0 ~ Y15 （不可扩展）	Y0 ~ Y15 （不可扩展）	Y0 ~ Y27 （可扩展）	Y0 ~ Y27 （可扩展）	Y0 ~ Y77 （可扩展）

（续）

PLC 型号 编程元件种类		FX0S	FX1S	FX0N	FX1N	FX2N （FX2NC）
辅助继电器 M	普通用	M0 ~ M495	M0 ~ M383	M0 ~ M383	M0 ~ M383	M0 ~ M499
	保持用	M496 ~ M511	M384 ~ M511	M384 ~ M511	M384 ~ M1535	M500 ~ M3071
	特殊用	M8000 ~ M8255				
状态寄存器 S	初始状态用	S0 ~ S9	S0 ~ S9	S0 ~ S9	S0 ~ S9	S0 ~ S9
	返回原点用	—	—	—	—	S10 ~ S19
	普通用	S10 ~ S63	S10 ~ S127	S10 ~ S127	S10 ~ S999	S20 ~ S499
	保持用	—	S0 ~ S127	S0 ~ S127	S0 ~ S999	S500 ~ S899
	信号报警用	—	—	—	—	S900 ~ S999
定时器 T	100ms	T0 ~ T49	T0 ~ T62	T0 ~ T62	T0 ~ T199	T0 ~ T199
	10ms	T24 ~ T49	T32 ~ T62	T32 ~ T62	T200 ~ T245	T200 ~ T245
	1ms	—	—	T63	—	—
	1ms 累积	—	T63	—	T246 ~ T249	T246 ~ T249
	100ms 累积	—	—	—	T250 ~ T255	T250 ~ T255
计数器 C	16 位增计数（普通）	C0 ~ C13	C0 ~ C15	C0 ~ C15	C0 ~ C15	C0 ~ C99
	16 位增计数（保持）	C14、C15	C16 ~ C31	C16 ~ C31	C16 ~ C199	C100 ~ C199
	32 位可逆计数（普通）	—	—	—	C200 ~ C219	C200 ~ C219
	32 位可逆计数（保持）	—	—	—	C220 ~ C234	C220 ~ C234
	高速计数器	C235 ~ C255				
数据寄存器 D	16 位普通用	D0 ~ D29	D0 ~ D127	D0 ~ D127	D0 ~ D127	D0 ~ D199
	16 位保持用	D30、D31	D128 ~ D255	D128 ~ D255	D128 ~ D7999	D200 ~ D7999
	16 位特殊用	D8000 ~ D8069	D8000 ~ D8255	D8000 ~ D8255	D8000 ~ D8255	D8000 ~ D8195
	16 位变址用	V Z	V0 ~ V7 Z0 ~ Z7	V Z	V0 ~ V7 Z0 ~ Z7	V0 ~ V7 Z0 ~ Z7
指针 N、P、I	嵌套用	N0 ~ N7	N0 ~ N7	N0 ~ N7	N0 ~ N7	N0 ~ N7
	跳转用	P0 ~ P63	P0 ~ P63	P0 ~ P63	P0 ~ P127	P0 ~ P127
	输入中断用	I00□ ~ I30□	I00□ ~ I50□	I00□ ~ I30□	I00□ ~ I50□	I00□ ~ I50□
	定时器中断	—	—	—	—	I6□□ ~ I8□□
	计数器中断	—	—	—	—	I010 ~ I060
常数 K、H	16 位	K：－32 768 ~ 32 767　　H：0000 ~ FFFFH				
	32 位	K：－2 147 483 648 ~ 2 147 483 647　　H：00000000 ~ FFFFFFFF				

（1）FX 系列 PLC 的基本单元

基本单元是构成 PLC 系统的核心部件，内有 CPU、存储器、I/O 模块、通信接口和扩展

接口等。由于 FX 系列 PLC 有众多的子系列，现以 FX0S、FX0N、FX2N 三个子系列为例加以介绍。

1）FX0S 系列的基本单元。FX0S 系列的功能简单，价格便宜，适用于小型开关量控制系统，它只有基本单元，没有扩展单元。其基本单元如表 2-5 所示。

表 2-5　FX0S 系列的基本单元

型　号				输入点数	输出点数
AC 100 ~ 240V		DC 24V			
继电器输出	晶体管输出	继电器输出	晶体管输出		
FX0S - 10MR - 001	FX0S - 10MT	FX0S - 10MR - D	FX0S - 10MT - D	6	4
FX0S - 14MR - 001	FX0S - 14MT	FX0S - 14MR - D	FX0S - 14MT - D	8	6
FX0S - 20MR - 001	FX0S - 20MT	FX0S - 20MR - D	FX0S - 20MT - D	12	8
FX0S - 30MR - 001	FX0S - 30MT	FX0S - 30MR - D	FX0S - 30MT - D	16	14
		FX0S - 14MR - D12		8	6
		FX0S - 30MR - D12		16	14

FX0S 容量为 800 步，有 20 条基本指令、2 条步进指令、35 种 50 条功能指令。FX0S 编程元件包括 500 多点辅助继电器、64 点状态寄存器、56 点定时器和一个模拟定时器，有 16 个 16 位的计数器及 4 点 1 相 7kHz 或 1 点 2 相 32 位高速加/减计数器、61 点 16 位数据寄存器，还有 64 点转移用跳步指针及 4 点中断指针。

2）FX0N 系列的基本单元。FX0N 的基本单元共有 12 种，最大的 I/O 点数为 60，它可带 3 种扩展单元，7 种扩展模块，可组成 24 ~ 128 个 I/O 点的系统。其基本单元如表 2-6 所示。

表 2-6　FX0N 系列的基本单元

型　号				输入点数	输出点数	扩展模块可用点数
AC 100 ~ 240V		DC 24V				
继电器输出	晶体管输出	继电器输出	晶体管输出			
FX0N - 24MR - 001	FX0N - 24MT	FX0N - 24MR - D	FX0N - 24MT - D	14	10	32
FX0N - 40MR - 001	FX0N - 40MT	FX0N - 40MR - D	FX0N - 40MT - D	24	16	32
FX0N - 60MR - 001	FX0N - 60MT	FX0N - 60MR - D	FX0N - 60MT - D	36	24	32

FX0N 的 EEPROM 用户存储器容量为 2000 步。基本指令有 20 条，步进指令有 2 条，应用指令共 36 种 51 条。FX0N 有 500 多点的辅助继电器，128 点状态寄存器，95 个定时器和 45 个计数器（其中高速计数器 13 个），还有大量的数据寄存器，76 点指针用于跳转、中断和嵌套。FX0N 有较强的通信功能，可与内置 RS - 232C 通信接口的设备通信，如使用 FX0N - 485APP 模块，可与计算机实现 1∶N（最多 8 台）的通信。FX0N 还备有 8 位模拟量输入/输出模块（2 路输入，1 路输出）用以实现模拟量的控制。由于 FX0N 体积小，功能强，使用灵活，特别适用于由于安装尺寸的限制而难以采用其他 PLC 的机械设备上。

3）FX2N 系列的基本单元。FX2N 系列是 FX 家族中最先进的 PLC 系列。

FX2N 基本单位有 16、32、48、64、80、128 点，6 个基本 FX2N 单元中的每一个单元

都可以通过 I/O 扩展单元扩充为 256 个 I/O 点。其基本单元如表 2-7 所示。

表 2-7　FX2N 系列的基本单元

型　号			输入点数	输出点数	扩展模块可用点数
继电器输出	晶闸管输出	晶体管输出			
FX2N－16MR－001	FX2N－16MS	FX2N－16MT	8	8	24～32
FX2N－32MR－001	FX2N－32MS	FX2N－32MT	16	16	24～32
FX2N－48MR－001	FX2N－48MS	FX2N－48MT	24	24	48～64
FX2N－64MR－001	FX2N－64MS	FX2N－64MT	32	32	48～64
FX2N－80MR－001	FX2N－80MS	FX2N－80MT	40	40	48～64
FX2N－128MR－001		FX2N－128MT	64	64	48～64

FX2N 具有丰富的元件资源，有 3072 点辅助继电器；提供了多种特殊功能模块，可实现过程控制位置控制；有多种 RS－232C、RS－422、RS－485 串行通信模块或功能扩展板支持网络通信。FX2N 具有较强的数学指令集，使用 32 位处理浮点数。具有方根和三角几何指令满足数学功能要求很高的数据处理。

（2）FX 系列的 I/O 扩展单元和扩展模块

FX 系列具有较为灵活的 I/O 扩展功能，可利用扩展单元及扩展模块实现 I/O 扩展。

1）FX0N 的 I/O 扩展。FX0N 系列共有三种扩展单元，如表 2-8 所示。FX0N 的扩展模块如表 2-9 所示。

表 2-8　FX0N 系列的扩展单元

型号	总 I/O 数目	输入			输出	
		数目	电压	类型	数目	类型
FX0N－40ER	40	24	DC 24V	漏型	16	继电器
FX0N－40ET	40	24	DC 24V	漏型	16	晶体管
FX0N－40ER－D	40	24	DC 24V	漏型	16	继电器（直流）

表 2-9　FX0N 系列的扩展模块

型号	总 I/O 数目	输入			输出	
		数目	电压	类型	数目	类型
FX0N－8ER	8	4	DC 24V	漏型	4	继电器
FX0N－8EX	8	8	DC 24V	漏型		
FX0N－16EX	16	16	DC 24V	漏型		
FX0N－8EYR	8				8	继电器
FX0N－8EYT	8				8	晶体管
FX0N－16EYR	16				16	继电器
FX0N－16EYT	16				16	晶体管

注：FX0N 的扩展模块也可在 FX2N 等子系列上应用。

2）FX2N 的 I/O 扩展。FX2N 系列的扩展单元如表 2-10 所示。FX2N 系列的扩展模块如表 2-11 所示。

表 2-10　FX2N 系列的扩展单元

型号	总 I/O 数目	输入			输出	
		数目	电压	类型	数目	类型
FX2N－32ER	32	16	DC 24V	漏型	16	继电器
FX2N－32ET	32	16	DC 24V	漏型	16	晶体管
FX2N－48ER	48	24	DC 24V	漏型	24	继电器
FX2N－48ET	48	24	DC 24V	漏型	24	晶体管
FX2N－48ER－D	48	24	DC 24V	漏型	24	继电器（直流）
FX2N－48ET－D	48	24	DC 24V	漏型	24	晶体管（直流）

表 2-11　FX2N 系列的扩展模块

型号	总 I/O 数目	输入			输出	
		数目	电压	类型	数目	类型
FX2N－16EX	16	16	DC 24V	漏型		
FX2N－16EYT	16				16	晶体管
FX2N－16EYR	16				16	继电器

此外，FX 系列还可将一块功能扩展板安装在基本单元内，无须外部的安装空间。例如，FX1N－4EX－BD 就是可用来扩展 4 个输入点的扩展板。

（3）FX 系列 PLC 各单元模块的连接

FX 系列 PLC 吸取了整体式和模块式 PLC 的优点，各单元间采用叠装式连接，即 PLC 的基本单元、扩展单元和扩展模块深度及高度均相同，连接时不用基板，仅用扁平电缆连接，构成一个整齐的长方体。使用 FRON/TO 指令的特殊功能模块，如模拟量输入和输出模块、高速计数模块等，可直接连接到 FX 系列的基本单元或连到其他扩展单元、扩展模块的右边。根据它们与基本单元的距离，对每个模块按 0～7 的顺序编号，最多可连接 8 个特殊功能模块。

4. FX 系列 PLC 的性能指标

在使用 FX 系列 PLC 之前，需对其主要性能指标进行认真查阅，只有选择了符合要求的产品才能达到既可靠又经济的要求。

（1）FX 系列 PLC 性能比较

以上已对 FX 系列 PLC 的基本单元、扩展单元及特殊功能模块等做了介绍，尽管 FX 系列中 FX0S、FX1S、FX1N、FX2N 等在外形尺寸上相差不多，但在性能上有较大的差别，其中 FX2N 和 FX2NC 子系列，在 FX 系列 PLC 中功能最强、性能最好。FX 系列 PLC 主要产品的性能比较如表 2-12 所示。

表 2-12　FX 系列 PLC 主要产品的性能比较

型号	I/O 点数	基本指令执行时间/μs	功能指令/条	模拟模块量	通信
FX0S	10～30	1.6～3.6	50	无	无
FX0N	24～128	1.6～3.6	55	有	较强
FX1N	14～128	0.55～0.7	177	有	较强
FX2N	16～256	0.08	298	有	强

（2）FX 系列 PLC 的环境指标

FX 系列 PLC 的环境指标要求如表 2-13 所示。

表 2-13　FX 系列 PLC 的环境指标要求

环境温度	使用温度 0 ~ 55℃，储存温度 −20 ~ 70℃
环境湿度	使用时 35% ~ 85% RH（无凝露）
防震性能	JISC0911 标准，10 ~ 55Hz，0.5mm（最大 2g），3 轴方向各 2 次（但用 DIN 导轨安装时为 0.5g）
抗冲击性能	JISC0912 标准，10g，3 轴方向各 3 次
抗噪声能力	用噪声模拟器产生电压为 1000V（峰 − 峰值）、脉宽 1μs、30 ~ 100Hz 的噪声
绝缘耐压	AC 1500V，1min（接地端与其他端子间）
绝缘电阻	5MΩ 以上（DC500V 绝缘电阻表测量，接地端与其他端子间）
接地电阻	第三种接地，如接地有困难，可以不接
使用环境	无腐蚀性气体，无尘埃

（3）FX 系列 PLC 的输入技术指标

FX 系列 PLC 对输入信号的技术要求如表 2-14 所示。

表 2-14　FX 系列 PLC 的输入技术指标要求

项目 \ 输入端	X0 ~ X3（FX0S）	X4 ~ X17（FX0S）X0 ~ X7（FX0N、FX1S、FX1N、FX2N）	X10 以内（FX0N、FX1S、FX1N、FX2N）	X0 ~ X3（FX0S）	X4 ~ X17（FX0S）
输入电压	DC24 ×（1 ± 10%）V			DC12 ×（1 ± 10%）V	
输入电流/mA	8.5	7	5	10	9
输入阻抗/kΩ	2.7	3.3	4.3	1	1.2
输入 ON 电流/mA	4.5 以上	4.5 以上	3.5 以上	4.5 以上	4.5 以上
输入 OFF 电流/mA	1.5 以下	1.5 以下	1.5 以下	1.5 以下	1.5 以下
输入响应时间	约 10ms，其中，FX0S、FX1N 的 X0 ~ X17 和 FX0N 的 X0 ~ X7 为 0 ~ 15ms 可变，FX2N 的 X0 ~ X17 为 0 ~ 60ms 可变				
输入信号形式	无电压触点，或 NPN 型集电极开路晶体管				
电路隔离	光耦合器隔离				
输入状态显示	输入 ON 时 LED 灯亮				

（4）FX 系列 PLC 的输出技术指标

FX 系列 PLC 对输出信号的技术要求如表 2-15 所示。

表 2-15　FX 系列 PLC 的输出技术指标要求

项目	继电器输出	晶闸管输出	晶体管输出
外部电源	AC250V 或 DC30V 以下	AC 85 ~ 240V	DC 5 ~ 30V
最大电阻负载	2A/1 点、8A/4 点、8A/8 点	0.3A/1 点、0.8A/4 点 （1A/1 点、2A/4 点）	0.5A/1 点、0.8A/4 点 （0.1A/1 点、0.4A/4 点） （1A/1 点、2A/4 点） （0.3A/1 点、1.6A/16 点）

（续）

项目	继电器输出	晶闸管输出	晶体管输出
最大感性负载	80V · A	15V · A/AC 100V、30V · A/AC 200V	12W/DC 24V
最大灯负载/W	100	30	1.5（DC 24V 时）
开路漏电流	—	1mA/AC 100V、2mA/AC 200V	0.1mA 以下
响应时间	约 10ms	ON：1ms，OFF：10ms	ON：<0.2ms、OFF：<0.2ms 大电流 OFF 为 0.4ms 以下
电路隔离	继电器隔离	光晶闸管隔离	光耦合器隔离
输出动作显示	输出 ON 时 LED 亮		

2.3.2　三菱 FX 系列 PLC 的编程元件

各种不同型号和档次的 PLC 具有不同数量和功能的内部资源，但构成 PLC 基本特征的内部逻辑编程软元件是类似的。

PLC 是按照电气继电器控制电路的设计思想，借助于大规模集成电路和计算机技术开发的一种新型工业控制器。使用者可以不必考虑 PC 内部元器件的具体组成电路，可以将 PC 看成是由各种功能元器件组成的工业控制器，利用编程语言对这些元器件线圈、触点进行编程以达到控制要求，为此使用者必须熟悉和掌握这些元器件的功能、编号及其使用方法。每种元器件都用特定的字母来表示，如 X 表示输入继电器、Y 表示输出继电器、M 表示辅助继电器、T 表示定时器、C 表示计数器、S 表示状态元件等，并对这些元器件给予规定的编号。现以 FX2N 系列小型 PLC 为例，介绍 PLC 的内部资源。

1. FX2N 编程元件的分类及编号

FX2N 系列 PLC 具有数十种编程元件，FX2N 系列 PLC 编程元件的编号分为两部分，第一部分是代表功能的字母，如输入继电器用 X 表示，输出继电器用 Y 表示；第二部分为数字，为该类器件的序号，FX2N 系列 PLC 中输入继电器和输出继电器的序号为八进制（它们的地址不是输入/输出点的数量），其余器件的序号为十进制。

2. 输入继电器（X）

FX2N 系列可编程序控制器采用八进制地址编号，输入继电器编号范围可以为 X0 ~ X267（共 184 点，包含可扩展单元、扩展模块后的点数）。

输入继电器与输入端相连，它是专门用来接受 PLC 外部开关信号的元件。PLC 通过输入接口将外部输入信号状态（接通时为 1，断开时为 0）读入并存储在输入映像寄存器中。图 2-36 所示为输入继电器 X1 的等效电路。

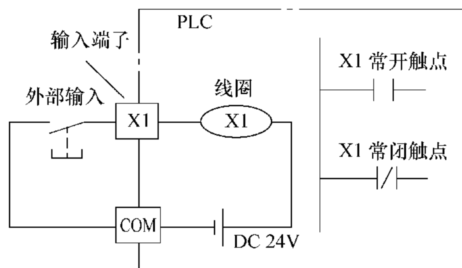


图 2-36　输入继电器 X1 的等效电路

说明：

1）输入继电器以八进制编号。FX2N 系列 PLC 带扩展时最多可有 184 点输入继电器

（X0 ~ X267）。基本单元输入继电器的编号是固定的，扩展单元和扩展模块是按与基本单元最靠近开始，顺序进行编号。例如，基本单元 FX2N－64M 的输入继电器编号为 X000 ~ X037（32 点），如果接有扩展单元或扩展模块，则扩展的输入继电器从 X040 开始编号。

2）输入继电器必须由外部信号输入驱动，如开关、传感器等输入信号，不能用程序驱动，所以在程序中不可能出现其线圈。

3）可以有无数的常开触点和常闭触点，由于输入继电器（X）为输入映像寄存器中的状态，所以其触点的使用次数不限。

4）输入信号（ON、OFF）至少要维持一个扫描周期。

PLC 的输入端是其内部输入继电器（X）从机外接受控制信号的端口，输入端与输入继电器之间是经过光电隔离的，每个输入端对应一个输入继电器。从使用上说，输入继电器的线圈只能由机外信号驱动，在反映机内器件逻辑关系的梯形图中并不出现。梯形图中常见的是输入继电器的常开、常闭触点。

3. 输出继电器（Y）

输出继电器是用来将 PLC 内部信号输出传送给外部负载（用户输出设备），输出继电器线圈是由 PLC 内部程序的指令驱动，其线圈状态传送给输出单元，再由输出单元对应的硬触点来驱动外部负载。图 2-37 所示为输出继电器 Y0 的等效电路。

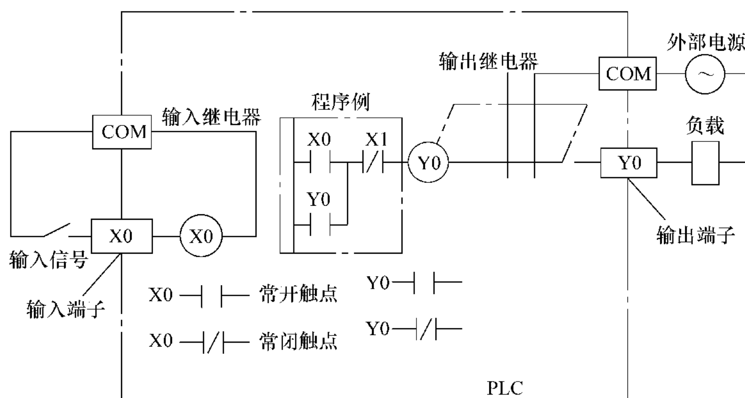


图 2-37　输出继电器 Y0 的等效电路

说明：

1）输出继电器以八进制编号。FX2N 系列 PLC 带扩展时最多可有 184 点输出继电器（Y0 ~ Y267）。与输入继电器一样，基本单元的输出继电器编号是固定的，扩展单元和扩展模块的编号也是按与基本单元最靠近开始，顺序进行编号。

2）输出继电器只能程序驱动，不能外部驱动。

3）输出模块的硬件继电器只有一个外部输出的常开触点，梯形图中输出继电器的常开触点和常闭触点可以多次使用。

PLC 的输出端是输出继电器（Y）向机外负载输出信号的端口，输出继电器的触点分外部输出触点和内部触点两种。外部输出触点（继电器触点、晶闸管、晶体管等输出器件）接到 PLC 的输出端子上，且只有常开触点；内部触点和输入继电器触点一样，其常开、常闭触点可重复使用无数次。输出继电器和输出端子是一一对应的，它是 PLC 中惟一具有外

部触点且能够驱动负载的继电器。

4. 辅助继电器（M）

辅助继电器是 PLC 中数量最多的一种继电器，一般的辅助继电器与继电器控制系统中的中间继电器相似。

PLC 内部有很多辅助继电器，辅助继电器与输出继电器一样只能用程序指令驱动，外部信号无法驱动它的常开、常闭触点，在 PLC 内部编程时可以无限次地自由使用。但是这些触点不能直接驱动外部负载，外部负载必须由输出继电器的外部触点来驱动。辅助继电器是用软件实现，是一种内部的状态标志，相当于继电器控制系统中的中间继电器。

在逻辑运算中经常需要一些中间继电器作为辅助运算用，这些器件往往用作状态暂存、移位等运算。辅助继电器采用 M 与十进制数共同组成编号（只有输入/输出继电器才用八进制数）。另外，辅助继电器还具有一些特殊功能。下面是几种常见的辅助继电器。

（1）通用辅助继电器 M0 ~ M499（500 点）

通用辅助继电器按十进制地址编号（在 FX 型 PLC 中除了输入/输出继电器外，其他所有器件都是十进制编号）。通用辅助继电器和输出继电器一样，在 PLC 运行时，如果电源突然断电，全部线圈的状态均变为 OFF。当电源再次接通时，除了因外部输入信号而变为 ON 的以外，其余的仍将保持 OFF 状态，它们没有断电保护功能。通用辅助继电器常在逻辑运算中作为辅助运算、状态暂存、移位等。根据需要可通过程序设定，将 M0 ~ M499 变为断电保持辅助继电器。

（2）断电保持辅助继电器 M500 ~ M3071（2572 点）

FX2N 系列有 M500 ~ M3071 共 2572 个断电保持辅助继电器。它与普通辅助继电器不同的是具有断电保护功能，即能记忆电源中断瞬时的状态，并在重新通电后再现其状态。它之所以能在电源断电时保持其原有的状态，是因为电源中断时用 PLC 中的锂电池保持它们映像寄存器中的内容。其中，M500 ~ M1023 可由软件将其设定为通用辅助继电器。

PLC 在运行时若发生停电，输出继电器和通用辅助继电器全部成为断开状态。上电后，除了 PLC 运行时被外部输入信号接通的以外，其他仍断开。不少控制系统要求保持断电瞬间状态。断电保持辅助继电器就是用于此场合的，断电保持是由 PLC 内装锂电池支持的。在 PLC 电源断开后，保持用辅助继电器具有保持断电前瞬间状态的功能，并在恢复供电后继续断电前的状态。

下面通过小车往复运动控制来说明断电保持辅助继电器的应用，如图 2-38 所示。

小车的正反向运动中，用 M600、M601 控制输出继电器驱动小车运动。X1、X0 为限位输入信号。运行的过程是 X0 = ON→M600 = ON→Y0 = ON→小车右行→停电→小车中途停止→上电（M600 = ON→Y0 = ON）再右行→X1 = ON→M600 = OFF、M601 = ON→Y1 = ON（左行）。可见由于 M600 和 M601 具有断电保持，所以在小车中途因停电停止后，一旦电源恢复，M600 或 M601 仍记忆原来的状态，将由它们控制相应输出继电器，小车继续原方向运动。若不用断电保护辅助继电器，当小车中途断电后，再次得电，小车也不能运动。

（3）特殊辅助继电器 M8000 ~ M8255（256 点）

PLC 内还有 256 个特殊辅助继电器，这些特殊辅助继电器各自具有特定的功能。通常可分成触点型和线圈型两大类。

1）触点型。只能利用其触点的特殊辅助继电器。其线圈由 PLC 自动驱动，用户只可使

用其触点。例如：

① 运行监视继电器：

M8000 为运行监控用，PLC 运行时 M8000 接通，如图 2-39 所示。

M8000——当 PLC 处于 RUN 时，其线圈一直得电；

M8001——当 PLC 处于 STOP 时，其线圈一直得电。

② 初始化继电器：

M8002 为仅在运行开始瞬间接通的初始脉冲特殊辅助继电器，如图 2-40 所示。

M8002——当 PLC 开始运行的第一个扫描周期其得电；

M8003——当 PLC 开始运行的第一个扫描周期其失电。

用于对计数器、移位寄存器、状态寄存器等进行初始化。

③ 出错指示继电器：

M8004——当 PLC 有错误时，其线圈得电；

M8005——当 PLC 锂电池电压下降至规定值时，其线圈得电。

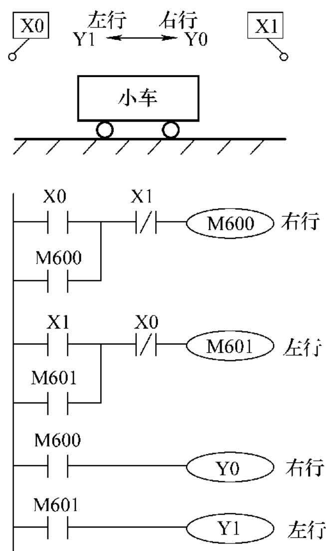


图 2-38　断电保持辅助继电器的应用

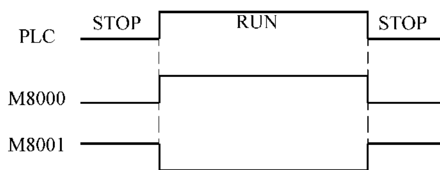


图 2-39　运行监视继电器

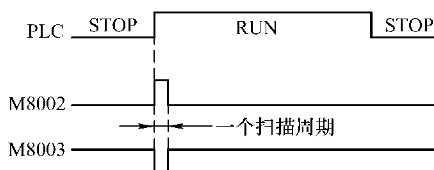


图 2-40　初始化继电器

④ 时钟继电器：M8011、M8012、M8013 和 M8014 分别是产生 10ms、100ms、1s 和 1min 时钟脉冲的特殊辅助继电器，如图 2-41 所示。

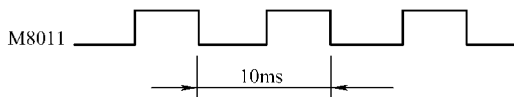


图 2-41　时钟继电器

M8011——产生周期为 10ms 脉冲；

M8012——产生周期为 100ms 脉冲；

M8013——产生周期为 1s 脉冲；

M8014——产生周期为 1min 脉冲。

M8000、M8002、M8012 的波形图如图 2-42 所示。

⑤ 标志继电器：

M8020——零标志，当运算结果为 0 时，其线圈得电；

M8021——借位标志，减法运算的结果为负的最大值以下时，其线圈得电；

M8022——进位标志，加法运算或移位操作的结果发生进位时，其线圈得电。

2）可驱动线圈型特殊辅助继电器。用户程序驱动线圈后 PLC 执行特定的动作。例如：

M8030——为锂电池电压指示灯特殊辅助继电器，当锂电池电压跌落时，M8030 动作，指示灯亮，提醒 PLC 维修人员赶快调换锂电池。

M8033——若使其线圈得电，则 PLC 停止时保持输出映像存储器和数据寄存器内容。

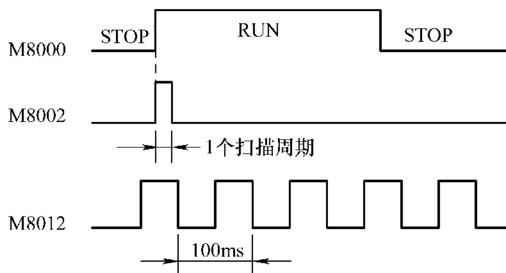


图 2-42　M8000、M8002、M8012 波形图

M8034——若使其线圈得电，则禁止全部输出特殊辅助继电器。

M8039——若使其线圈得电，为定时扫描特殊辅助继电器，PLC 按 D8039 中指定的扫描时间工作。

需要说明的是，未定义的特殊辅助继电器可在用户程序中使用。辅助继电器的常开、常闭触点在 PLC 内可无限次地使用。

5. 状态继电器（S）

状态继电器（S）是构成状态转移图的重要器件，用来记录系统运行中的状态，是编制顺序控制程序的重要编程元件，它与后述的步进顺控指令 STL 配合应用。

（1）状态继电器软件有下面五种类型

1）初始状态继电器 S0 ~ S9，共 10 点；

2）回零状态继电器 S10 ~ S19，共 10 点；

3）通用状态继电器 S20 ~ S499，共 480 点；

4）保持状态继电器 S500 ~ S899，共 400 点；

5）报警用状态继电器 S900 ~ S999，共 100 点。这 100 个状态继电器可用作外部故障诊断输出。

如图 2-43 所示，我们用机械手动作简单介绍状态继电器（S）的作用。当起动信号 X0 有效时，机械手下降，到下降限位 X1 开始夹紧工件，夹紧到位信号 X2 为 ON 时，机械手上升到上限 X3 则停止。整个过程可分为三步，每一步都用一个状态继电器 S20、S21、S22 记录。每个状态器都有各自的置位和复位信号（如 S21 由 X1 置位，X2 复位），并有各自要做的操作（驱动 Y0、Y1、Y2）。从起动开始由上至下随着状态动作的转移，下一状态动作，则上面状态自动返回原状。

（2）使用状态继电器时应注意

1）状态继电器与辅助继电器一样有无数的常开和常闭触点；

2）状态继电器不与步进顺控指令 STL 配合使用时，可作为辅助继电器（M）使用；

3）FX2N 系列 PLC 可通过程序设定将 S0 ~ S499 设置为有断电保持功能的状态继电器。

S0 ~ S499 没有断电保持功能，但是用程序可以将它们设定为有断点保持功能的状态。状态继电器的常开、常闭触点在 PLC 内可以使用，且使用次数不限。不用步进顺控指令时，状态继电器（S）可以作辅助继电器（M）在程序中使用。此外，每一个状态继电器还提供一个步进触点，称为 STL 触点，用符号—[　]—表示，在步进控制的梯形图中使用。不使用步进指令时，状态继电器也可当作辅助继电器使用。

6. 定时器（T）

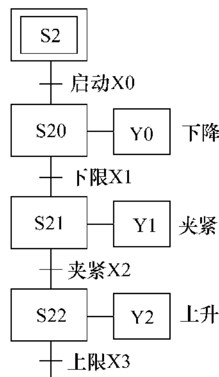


图 2-43　状态继电器（S）的作用

PLC 中的定时器（T）相当于继电器控制系统中的通电型时间继电器。它可以提供无限对常开、常闭延时触点供编程使用。定时器中有一个设定值寄存器（一个字长）、一个当前值寄存器（一个字长）和一个用来存储其输出触点的映像寄存器（一个二进制位），这三个量使用同一地址编号。

FX2N 系列中定时器可分为通用定时器、积算定时器两种。它们是通过对一定周期的时钟脉冲进行累计而实现定时的，时钟脉冲有周期为 1ms、10ms、100ms 三种，当所计数达到设定值时触点动作。设定值可用常数 K 或数据寄存器（D）的内容来设置。

定时器组成：初值寄存器（16 位）、当前值寄存器（16 位）、输出状态的映像寄存器（1 位）。定时器元件号按十进制编号，设定时间由编程时设定系数 K 决定。

（1）通用定时器

通用定时器的特点是不具备断电的保持功能，即当输入电路断开或停电时定时器复位。通用定时器有 100ms 和 10ms 通用定时器两种。

1）100ms 通用定时器（T0 ~ T199）共 200 点，其中 T192 ~ T199 为子程序和中断服务程序专用定时器。这类定时器是对 100ms 时钟累积计数，设定值为 1 ~ 32767，所以其定时范围为 0. 1 ~ 3276. 7s。

2）10ms 通用定时器（T200 ~ T245）共 46 点。这类定时器是对 10ms 时钟累积计数，设定值为 1 ~ 32767，所以其定时范围为 0. 01 ~ 327. 67s。

（2）积算定时器

积算定时器具有计数累积的功能。在定时过程中如果断电或定时器线圈 OFF，积算定时器将保持当前的计数值（当前值），通电或定时器线圈 ON 后继续累积，即其当前值具有保持功能，只有将积算定时器复位，当前值才变为 0。

1）1ms 积算定时器（T246 ~ T249）共 4 点，是对 1ms 时钟脉冲进行累积计数的，定时的时间范围为 0. 001 ~ 32. 767s。

2）100ms 积算定时器（T250 ~ T255）共 6 点，是对 100ms 时钟脉冲进行累积计数的，定时的时间范围为 0. 1 ~ 3276. 7s。

除此之外，还有积算型定时器等。当定时器线圈得电时，定时器对相应的时钟脉冲（100ms、10ms、1ms）从 0 开始计数，当计数值等于设定值时，定时器的触点接通。若定时器线圈中途断电，则定时器的计数值复位，如图 2-44 所示。

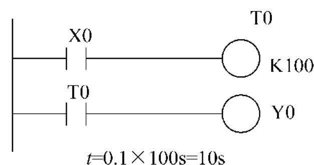


图 2-44　定时器计数

复位指令：如 RST T250

积算定时器输入断开或发生断电时，当前值保持，只有复位接通时，计数器和触点复位，如图 2-45 所示。

7. 计数器（C）

计数器主要用来记录脉冲的个数或根据脉冲个数设定某一时间，计数值通过编程来设定。计数器元件号按十进制编号，计数器计数次数由编程时设定的系数 K 决定。它可提供无限对常开触点、常闭触点供编程使用。C0 ~ C99 为通用加计数器，计数范围为 1 ~ 32767。C100 ~ C199 为停电保持加计数器，计数范围为 1 ~ 32767。除此之外，还有可逆、加、减计数器等。计数器根据 PLC 的字长度分为 16 位和 32 位计数器；按计数信号频率的不同分为通用计数器和高速计数器。由于计数器具有加减计数功能，所以又分为递加和递减计数器。

16 位加计数器是在执行扫描操作时对内部器件（X、Y、S、M、C 等）的信号进行加计数的计数器，因此其接通时间和断开时间应比 PLC 扫描的周期稍长，通常其输入信号频率大约为几个扫描周期。

计数器从 0 开始计数，计数端每来一个脉冲计数值加 1，当计数值与设定值相等时，计数器触点动作，如图 2-46 所示。RST 端一接通，计数器立即复位。

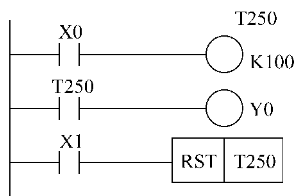


图 2-45　积算定时器

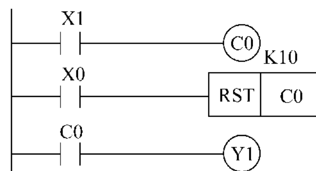


图 2-46　计数器计数

（1）普通计数器（计数范围：1 ~ 32767）

16 位加计数器。其设定值为 1 ~ 32767，地址为 C0 ~ C199，其中 C0 ~ C99 是普通型的，C100 ~ C199 是失电保护型的。这类计数器为递加计数，应用前先对其设置一设定值，当输入信号（上升沿）个数累加到设定值时，计数器动作，其常开触点闭合、常闭触点断开。计数器的设定值为 1 ~ 32767（16 位二进制），设定值除了用常数 K 设定外，还可间接通过指定数据寄存器设定。

16 位通用加法计数器：C0 ~ C99（16 位增计数器）；16 位掉电保持计数器：C100 ~ C199（16 位增计数器）。

（2）双向计数器（计数范围：－2147483648 ~ 2147483647）

32 位通用双向计数器：C200 ~ C219，共 20 个；32 位掉电保持计数器：C220 ~ C234，共 15 个。

计数器的加减功能由内部辅助继电器 M8200 ~ M8234 设定，特殊辅助继电器闭合（置 1）时为递减计数，断开时为递加计数。两相输入计数器的两相输入是 A 和 B 信号，它们决定于计数器是加计数器还是减计数器。

1）设定值可直接用常数 K 或间接用数据寄存器 D 的内容。间接设定时，要用编号紧连在一起的两个数据寄存器。

2）C200 ~ C234 计数器的计数方向（加/减计数）由特殊辅助继电器 M8200 ~ M8234 设定。当 M82XX 接通（置 1）时，对应的计数器 C2XX 为减法计数；当 M82XX 断开（置 0）时为加法计数。

（3）高速计数器 C235 ~ C255（32 位增/减计数器）

高速计数器与内部计数器相比除允许输入频率高之外，应用也更为灵活，高速计数器均有断电保持功能，通过参数设定也可变成非断电保持。FX2N 有 C235 ~ C255 共 21 点高速计数器。适合用来作为高速计数器输入的 PLC 输入端口有 X0 ~ X7。X0 ~ X7 不能重复使用，即某一个输入端已被某个高速计数器占用，他就不能再用于其他高速计数器，也不能用做它用。

高速计数器可分为三类：

1）单相单计数输入高速计数器（C235 ~ C245）。其触点动作与 32 位增/减计数器相同，可进行增或减计数（取决于 M8235 ~ M8245 的状态）。

图 2-47a 所示为无起动/复位端单相单计数输入高速计数器的应用。当 X10 断开，M8235 为 OFF，此时 C235 为增计数方式（反之为减计数）。由 X12 选中 C235，输入信号来自于 X12，C235 对 X12 信号增计数，当前值达到 1234 时，C235 常开触点接通，Y0 得电。X11 为复位信号，当 X11 接通时，C235 复位。

图 2-47b 所示为带起动/复位端单相单计数输入高速计数器的应用。X11 和 X12 分别为复位输入端和起动输入端。利用 X10 通过 M8244 可设定其增/减计数方式。当 X11 为接通，且 X12 也接通时，则开始计数，计数的输入信号来自于 X12，C244 的设定值由 D0 和 D1 指定。除了可用 X11 立即复位外，也可用梯形图中的 X10 复位。

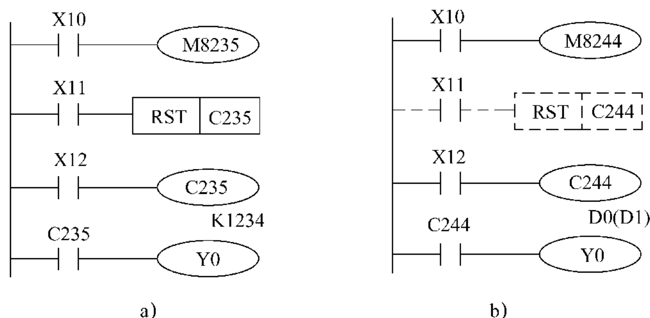


图 2-47　单相单计数输入高速计数器的应用
a）无起动/复位端　b）带起动/复位端

2）单相双计数输入高速计数器（C246 ~ C250）。这类高速计数器具有两个输入端，一个为增计数输入端，另一个为减计数输入端。利用 M8246 ~ M8250 的 ON/OFF 动作可监控 C246 ~ C250 的增记数/减计数动作。

如图 2-48 所示，X10 为复位信号，其有效（ON）则 C248 复位，当 X11 接通时，选中 C248，输入来自 X11。

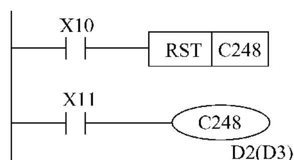


图 2-48　单相双计数输入高速计数器

3）双相高速计数器（C251 ~ C255）。A 相和 B 相信号决定计数器是增计数还是减计数。当 A 相为 ON 时，B 相由 OFF 到 ON，则为增计数；当 A 相为 ON 时，若 B 相由 ON 到 OFF，则为减计数，如图 2-49a 所示。

如图 2-49b 所示，当 X12 接通时，C251 计数开始，其输入来自 X12（A 相）和 X12（B 相）。只有当计数使当前值超过设定值，则 Y2 为 ON。如果 X11 接通，则计数器复位。根据不同的计数方向，Y3 为 ON（增计数）或 OFF（减计数），

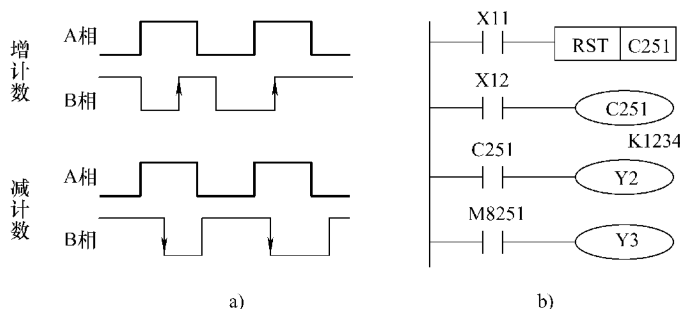


图 2-49　双相高速计数器
a）时序图　b）梯形图

即用 M8251 ~ M8255，可监视 C251 ~ C255 的加/减计数状态。

机械转轴上安装的光电编码器在电动机正转或反转时分别输出如下波形。双相输入型高速计数器可根据 A、B 相波形的相对相位自动进行增/减计数，如图 2-50 所示，即可测得转轴的转向和转数。

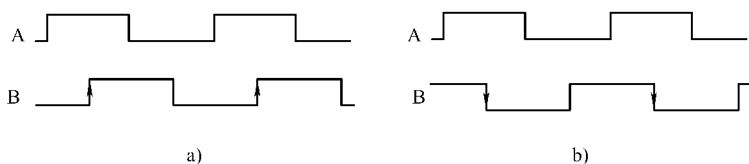


图 2-50　A、B 相正反转波形
a）正转时的增计数　b）反转时的减计数

计数方式：在 A 相接通时，若 B 相由断到通，则计数器做增计数；在 A 相接通时，若 B 相由通到断，则计数器做减计数。

如图 2-51 所示，当 X12 = 1 时，C254 进行增（减）计数；当 X11 接通时，C254 复位。

注意：高速计数器的计数频率较高，它们的输入信号的频率受两方面的限制。一是全部高速计数器的处理时间。因它们采用中断方式，所以计数器用的越少，则可计数频率就越高。二是输入端的响应速度，如其中 X0、X2、X3 最高频率为 10kHz，X1、X4、X5 最高频率为 7kHz。

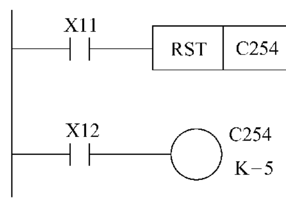


图 2-51　A、B 相波形的相对相位自动进行增/减计数

8. 数据寄存器（D）

用来存储 PLC 进行输入/输出处理、模拟量控制、位置量控制时的数据和参数。数据寄存器为 16 位，最高位是符号位。可采用两个数据寄存器合并起来存放 32 位数据，最高位仍为符号位。

（1）通用数据寄存器：D0 ~ D199

通用数据寄存器在 PLC 由 RUN 到 STOP 时，其数据全部清零。

如果将特殊继电器 M8033 置 1，则 PLC 由 RUN 到 STOP 时，数据可以保持。

（2）断电保持数据寄存器：D200 ~ D511

断电保持数据寄存器只要不被改写，原有数据就不会丢失，不论电源接通与否，PLC 运

行与否，都不会改变寄存器的内容。

D200～D511（共 312 点）有断电保持功能，可以利用外部设备的参数设定改变通用数据寄存器与有断电保持功能数据寄存器的分配。这类数据寄存器只要不改写，其数据不会丢失，无论电源接通与否或 PLC 运行与否都不会改变寄存器的内容，但可用指令清除它们的内容。请注意，用 PLC 外围设备的参数设定，可以改变 D200～D511 的掉电保持性，而专用型掉电保持数据寄存器改为一般用途时，可在程序起步时采用后述的 RST 或 ZRST 指令，进行清零。可以清楚地看出，新型 FX2N 系列 PLC 比以前 FX2 系列 PLC 数据寄存器大大增加。

（3）文件寄存器：D1000～D7999

根据参数设定可以将 D1000 以上作为文件寄存器。文件寄存器实际上是存放大量数据的专用数据寄存器，用以生成用户数据区，如存放采集数据、统计计算数据、多组控制参数（如多种原料配方）等。文件寄存器占用用户程序存储器（RAM、EPROM、EEPROM）内的某一存储区间，以 500 点为一单位，有时把 500 点称为块。也就是说，通过参数设定，可以把 D1000～D7999 指定为 1～14 个块（一个块相当于 500 个文件寄存器）。D1000～D7999 一部分设定为文件寄存器时，剩余部分仍为掉电保持型数据寄存器使用。

（4）特殊数据寄存器：D8000～D8255

共 256 点。特殊数据寄存器的作用是监控 PLC 的运行状态，如扫描时间、电池电压等。

当 PLC 运行中，可用后续的 BMOV 指令将文件寄存器的数据读到通用数据寄存器中，但不能用指令将数据写入文件寄存器。

（5）变址寄存器：V、Z

变址寄存器是一种特殊用途的数据寄存器，相当于微机中的变址寄存器，用于改变元件的编号（变址），通常用于修改器件的地址编号。例如 V0＝5，则执行 D20V0 时，被执行的编号为 D25（D20＋5）。V 和 Z 都是 16 位的寄存器，可以像其他数据寄存器一样进行读写，需要进行 32 位操作时，可将 V、Z 串联使用（Z 为低位，V 为高位）。

9. 常数（K、H）

K 是表示十进制整数的符号，主要用来指定定时器或计数器的设定值及应用功能指令操作数中的数值；H 是表示十六进制数，主要用来表示应用功能指令的操作数值。十进制常数用 K 表示，如常数 123 表示为 K123。十六进制常数则用 H 表示，如常数 345 表示为 H159。PLC 中的数据，全部是以二进制表示的，最高位是符号位，0 表示正数，1 表示负数，但一般的编程器往往只能检测到十进制数或十六进制数。

10. 指针（P、I）

在 FX 系列中，P 标号表示子程序跳转和调用，I 标号表示中断服务程序的入口地址，分为分支用指针、输入中断指针、定时中断指针和记数中断指针。

（1）分支用指针（P0～P127）

FX2N 有 P0～P127 共 128 点分支用指针，其中 P63 用于结束跳转。分支指针用来指示跳转指令（CJ）的跳转目标或子程序调用指令（CALL）调用子程序的入口地址。

跳转指令中使用格式为：CJP0～CJP127

子程序调用中使用格式为：CALL P0～CALL P127

如图 2-52 所示，当 X1 常开触点接通时，执行跳转指令 CJP0，PLC 跳到标号为 P0 处之后的程序去执行。

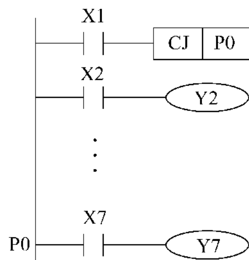


图 2-52　分支用指针

（2）END 跳转用指针

它用来指定 END 跳转的特殊字殊。P63 为 END 跳转指令的指针标号，它未变成编程标号时，表明程序会发生错误。

（3）中断用指针

输入用中断指针（I00□～I50□）共 6 点，它是用来指示由特定输入端的输入信号而产生中断的中断服务程序的入口位置，这类中断不受 PLC 扫描周期的影响，可以及时处理外界信息。输入号（0～5），对应输入 X0～X5 且每个只能用一次。

例如，I101 为当输入 X1 从 OFF→ON 变化时，执行以 I101 为标号后面的中断程序，并根据 IRET 指令返回。

定时器中断用指针（I6□□～I8□□）共 3 点，是用来指示周期定时中断的中断服务程序的入口位置，这类中断的作用是 PLC 以指定的周期定时执行中断服务程序，定时循环处理某些任务。处理的时间也不受 PLC 扫描周期的限制。表示定时范围，可在 10～99ms 中选取。

计数器中断用指针（I010～I060）共 6 点，它们用在 PLC 内置的高速计数器中。根据高速计数器的计数当前值与计数设定值的关系确定是否执行中断服务程序。它常用于利用高速计数器优先处理计数结果的场合。

第 3 章　PLC 的编程语言与基本逻辑指令

3.1　PLC 的编程语言

PLC 的用户程序是设计人员根据控制系统的工艺控制要求，通过 PLC 编程语言的编制设计的。根据国际电工委员会制定的工业控制编程语言标准（IEC1131－3），PLC 的编程语言包括以下五种：梯形图语言（LD）、指令表语言（IL）、功能模块图语言（FBD）、顺序功能流程图语言（SFC）及结构化文本语言（ST）。

1．梯形图语言（LD）

梯形图语言是 PLC 程序设计中最常用的编程语言。它是与继电器线路类似的一种编程语言，是在原继电器控制系统的继电器梯形图基础上演变而来的一种图形语言。它将 PLC 内部的各种编程元件（如继电器的触点、线圈、定时器、计数器等）和各种具有特定功能的命令用专用图形符号、标号定义，并按逻辑要求及连接规律组合和排列，从而构成了表示 PLC 输入、输出之间控制关系的图形。它是目前用得最多的 PLC 编程语言。继电器电路图与梯形图两者部分图形符号对应关系如表 3-1 所示。

表 3-1　继电器电路图与梯形图两者部分图形符号对应关系

符号名称	继电器电路符号	梯形图符号
常开触点	—⁄—	┤ ├
常闭触点	—ᒣ—	┤/├
线圈	—▭—	—○— 或 —( )—

梯形图语言的特点：

1）梯形图是按照从上到下、从左到右的顺序设计，它以一个线圈的结束为一个逻辑行，也称为一个梯级。梯形图可以由多个梯级组成，每个梯级有一个或多个支路，有一个输出元件（运算结果），最右边的元件必须是输出元件。

2）一个梯形图梯级的多少，取决于控制系统的复杂程度，但一个完整的梯形图至少应有两个梯级（含 END 语句）。

3）继电器线圈只能出现一次，而它的常开、常闭触点可以出现无数次。

4）每一梯级的运算结果立即被后面的梯级所利用。

5）输入继电器受外部信号控制。只出现触点，不出现线圈。

6）梯形图中没有任何物理电流，分析程序时假设有一个概念电流。梯形图中左右两边的竖线表示假想的逻辑电源。当某一梯级的逻辑运算结果为 1 时，有假想的电流通过。假设

左母线是电源的正极，右母线是电源的负极，概念电流从左向右流动。梯形图逻辑执行的顺序是从左到右，从上到下。概念电流是执行程序时满足输出执行条件的形象理解。

如图 3-1 与图 3-2 所示，梯形图直观，与电气原理图相对应，但梯形图中的能流不是实际意义的电流，内部的继电器也不是实际存在的继电器，应用时需要与原有继电器控制的概念区别对待。

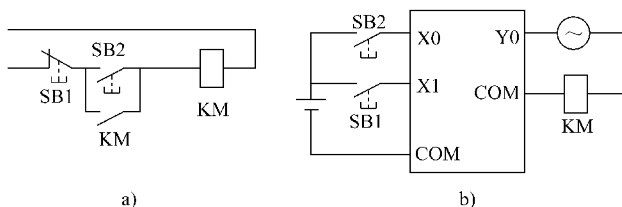


图 3-1　电路图

a）I/O 分配：X0—起动，X1—停止，Y0—KM

b）PLC 外部接线图

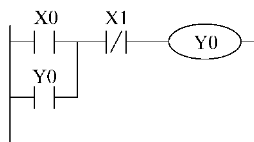


图 3-2　PLC 梯形图

2. 指令表语言（IL）

指令表语言是与汇编语言类似的一种助记符编程语言，由操作码和操作数组成语句表将控制流程描述出来，在无计算机的情况下，适合采用 PLC 手持编程器对用户程序进行编制。在 PLC 编程软件下可以相互转换。指令表如图 3-3 所示。

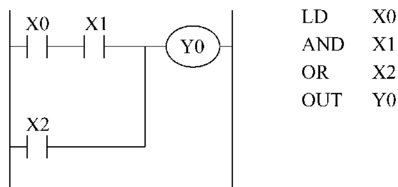


图 3-3　指令表

指令语句表是由若干条语句组成的程序，语句是程序的最小独立单元，每个操作功能由一条或几条语句来执行。

每一条语句由操作码、操作数两部分组成。操作码用助记符表示，如 LD、OR、LDI 等，用于指令的操作功能，如逻辑与、逻辑或、计时、计数、移位等。

操作数一般由标识符和参数组成，标识符表示操作数的类别，如输入继电器、输出继电器、计时器、计数器等；参数表明操作数的地址或一个预先的设定值。

指令表语言的特点：

采用助记符来表示操作功能，具有容易记忆，便于掌握的优点；在手持编程器的键盘上采用助记符表示，便于操作，可在无计算机的场合进行编程设计；与梯形图有一一对应关系。其特点与梯形图语言基本一致。

3. 功能模块图语言（FBD）

功能模块图语言是与数字逻辑电路类似的一种 PLC 编程语言。采用功能模块图的形式来表示模块所具有的功能，不同的功能模块有不同的功能。功能模块图如图 3-4 所示。

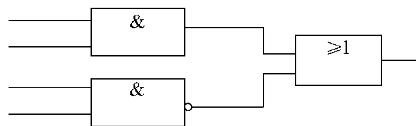


图 3-4　功能模块图

功能模块图语言的特点：

以功能模块为单位，分析理解控制方案简单容易；功能模块是用图形的形式表达功能，直观性强，对于具有数字逻辑电路基础的设计人员很容易掌握编程；对规模大、控制逻辑关系复杂的控制系统，由于功能模块图能够清楚表达功能关系，使编程调试时间大大减少。

4. 顺序功能流程图语言（SFC）

顺序功能流程图语言是为了满足顺序逻辑控制而设计的编程语言。编程时将顺序流程动作的过程分成步和转换条件，根据转移条件对控制系统的功能流程顺序进行分配，一步一步地按照顺序动作。每一步代表一个控制功能任务，用方框表示。在方框内含有用于完成相应控制功能任务的梯形图逻辑。这种编程语言使程序结构清晰，易于阅读及维护，大大减轻编程的工作量，缩短编程和调试时间。用于系统的规模校大，程序关系较复杂的场合。图 3-5 所示是一个简单的顺序功能流程图语言的示意图。

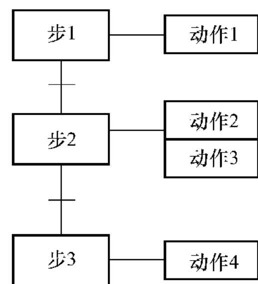


图 3-5　顺序功能流程图语言的示意图

顺序功能流程图语言的特点：

以功能为主线，按照功能流程的顺序分配，条理清楚，便于对用户程序理解；避免梯形图或其他语言不能顺序动作的缺陷，同时也避免了用梯形图语言对顺序动作编程时，由于机械互锁造成用户程序结构复杂、难以理解的缺陷；用户程序扫描时间也大大缩短。

在功能图中用户可以根据顺序控制步骤执行条件的变化，分析程序的执行过程，可清楚地看到在程序执行过程中每一步的状态，便于程序的设计和调试。

5. 结构化文本语言（ST）

结构化文本语言是用结构化的描述文本来描述程序的一种编程语言。它是类似于高级语言的一种编程语言。在大中型的 PLC 系统中，常采用结构化文本来描述控制系统中各个变量的关系。主要用于其他编程语言较难实现的用户程序编制。

结构化文本语言采用计算机的描述方式来描述系统中各种变量之间的各种运算关系，完成所需的功能或操作。大多数 PLC 制造商采用的结构化文本语言与 BASIC 语言、PASCAL 语言或 C 语言等高级语言相类似，但为了应用方便，在语句的表达方法及语句的种类等方面都进行了简化。

结构化文本语言的特点：

采用高级语言进行编程，可以完成较复杂的控制运算；需要有一定的计算机高级语言的知识和编程技巧，对工程设计人员要求较高；直观性和操作性较差。

不同型号的 PLC 编程软件对以上五种编程语言的支持种类是不同的，早期的 PLC 仅仅支持梯形图语言和指令表语言。目前的 PLC 对梯形图、指令表、功能模块图语言都以支持。例如，SIMATIC STEP7 Micro WIN V3.2。虽然不同的厂家梯形图、指令表的使用方式有差异，但基本编程原理和方法是相同的。三菱 FX2N 产品同时支持梯形图、指令表和顺序功能流程图三种编程语言。

3.2　PLC 的梯形图的基本概念和基本编程规则

3.2.1　PLC 的梯形图的基本概念

梯形图具有直观易懂的优点，很容易被工厂电气人员掌握，特别适用于开关量逻辑控

制。梯形图常被称为电路或程序，梯形图的设计称为编程。

梯形图编程中，用到以下四个基本概念。

1. 软继电器

PLC 梯形图中的某些编程元件沿用了继电器这一名称，如输入继电器、输出继电器、内部辅助继电器等，但是它们不是真实的物理继电器，而是一些存储单元（软继电器），每一软继电器与 PLC 存储器中映像寄存器的一个存储单元相对应。该存储单元如果为 1 状态，则表示梯形图中对应软继电器的线圈“通电”，其常开触点接通，常闭触点断开，称这种状态是该软继电器的 1 或 ON 状态。如果该存储单元为 0 状态，对应软继电器的线圈和触点的状态与上述的相反，称该软继电器为 0 或 OFF 状态。使用中也常将这些“软继电器”称为编程元件。

2. 能流

图 3-6a 所示触点 1、2 接通时，有一个假想的“概念电流”或“能流”(Power Flow) 从左向右流动，这一方向与执行用户程序时的逻辑运算的顺序是一致的。能流只能从左向右流动。利用能流这一概念，可以帮助我们更好地理解和分析梯形图。图 3-6a 中可能有两个方向的能流流过触点 5（经过触点 1、5、4 或经过触点 3、5、2），这不符合能流只能从左向右流动的原则，因此应改为图 3-6b 所示的梯形图。

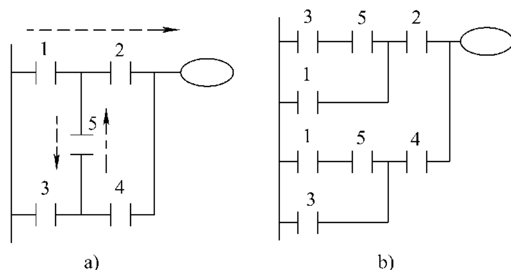


图 3-6　梯形图

a）错误的梯形图　b）正确的梯形图

3. 母线

梯形图两侧的垂直公共线称为公共母线（Bus bar）。在分析梯形图的逻辑关系时，为了借用继电器电路图的分析方法，可以想象左右两侧母线（左母线和右母线）之间有一个左正右负的直流电源电压，母线之间有“能流”从左向右流动。右母线可以不画出。

4. 梯形图的逻辑解算

根据梯形图中各触点的状态和逻辑关系，求出与图中各线圈对应的编程元件的状态，称为梯形图的逻辑解算。梯形图中逻辑解算是按从左至右、从上到下的顺序进行的。解算的结果，立即可以被后面的逻辑解算所利用。逻辑解算是根据输入映像寄存器中的值，而不是根据解算瞬时外部输入触点的状态来进行的。

3.2.2　PLC 的梯形图的基本编程规则

尽管梯形图与继电器电路图在结构形式、元件符号及逻辑控制功能等方面相类似，但它们又有许多不同之处，梯形图具有自己的编程规则。下面以三菱 FX 系列 PLC 为例，简单介绍一下 PLC 梯形图编程时需要遵循的规则。

1. 触点不能出现在线圈的右边

梯形图按 PLC 在一个扫描周期内扫描程序的顺序，从左到右、从上到下的顺序进行绘制。与右边线圈相连的全部支路组成一个逻辑行。梯形图两侧的垂直公共线为公共母线，梯形阶梯都是始于左母线，终于右母线（也可以省掉不画，仅画左母线）。每行的左边是触点组合，表示驱动逻辑线圈的条件，而表示结果的逻辑线圈只能接在右边的母线上，即不能将

触点画在线圈右边，只能在触点的右边接线圈，如图 3-7 所示。

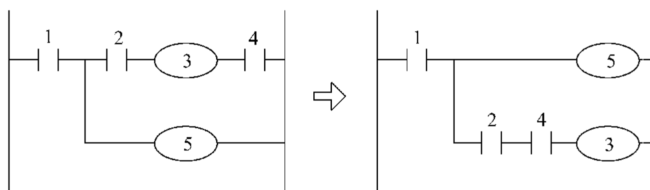


图 3-7　触点不能出现在线圈的右边的原则

2. 触点和线圈的常规位置

梯形图的左母线与线圈间一定要有触点，而线圈与右母线间不能有任何触点，常规下触点只能在水平支路上，不能画在垂直支路上，如图 3-8 所示。

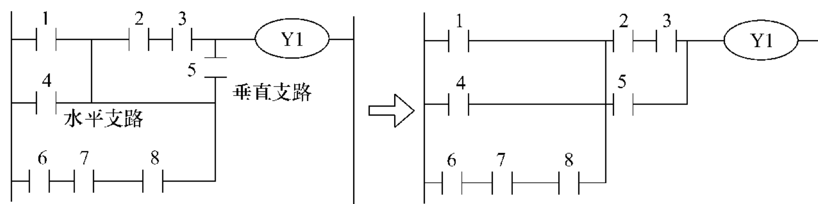


图 3-8　触点应画在水平支路上不能画在垂直支路上

3. 不可编程的梯形图应做等效的变换

一个触点不允许有双向电流通过，如图 3-9a 中接点 X005 与其他触点之间的连接关系不能识别，对此类桥式电路，要将其化为连接关系明确的电路。按从左至右、从上到下的单向性原则，可以看出有 4 条从左母线到达线圈 Y000 的不同支路，于是就可以将图 3-9a 不可编程的电路转化为在逻辑功能上等效的图 3-9b 所示的可编程电路。

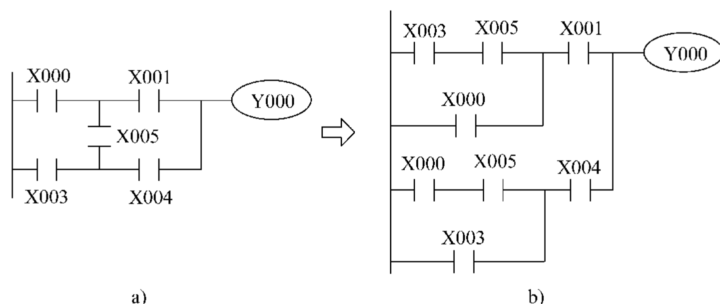


图 3-9　不可编程的电路转化为等效的可编程电路
a）不可编程的桥式电路　b）等效的可编程电路

4. 上重下轻和左重右轻的原则

串联块并联时，应将触点多的并联电路放在梯形图的上方（上重下轻的原则），有并联电路相串联时，应将触点多的电路放在梯形图左方（左重右轻的原则）。这样做，程序简洁，从而减少指令的扫描时间。串联多的电路尽量放上部，并联多的电路尽量靠近母线，如图 3-10 所示。

5. 避免使用双线圈

如果在同一程序中一元件的线圈使用两次或多次，则称为双线圈输出。有些 PLC 将其视为语法错误，绝对不允许；有些 PLC 则将前面的输出视为无效，只有最后一次输出有效，如图 3-11 所示，而有些 PLC，在含有跳转指令或步进指令的梯形图中允许双线圈输出。

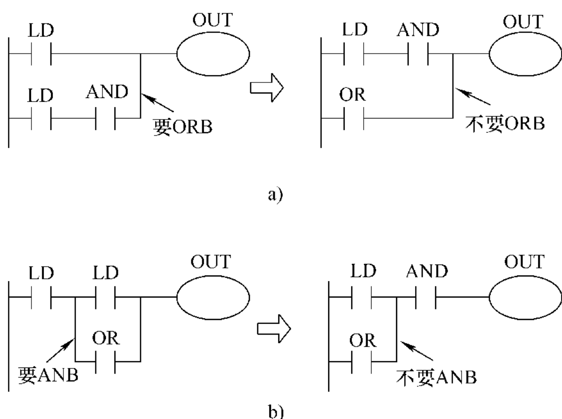


图 3-10　串联块并联与并联电路相串联时的规则
a）上重下轻原则　b）左重右轻原则

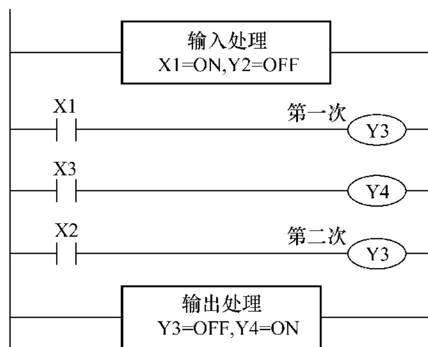


图 3-11　双线圈输出不可用

6. 触点与线圈的串并联规定

编程元件的常开触点和常闭触点可以无限次使用，梯形图中的触点可以任意串联或并联，但继电器线圈只能并联而不能串联。

7. 两个逻辑行互有牵连的结构变换

当两个逻辑行之间互有牵连时，如图 3-12 所示，可按图示的方法加以变换。

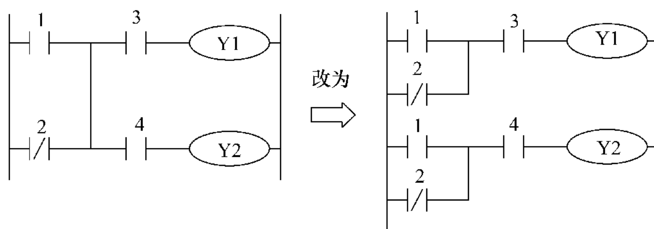


图 3-12　两个逻辑行互有牵连的结构变换

3.3　三菱 FX 系列 PLC 的基本逻辑指令

3.3.1　三菱 FX 系列逻辑指令基本类型

本节以 FX2N 为例，介绍其基本逻辑指令及其应用。FX2N 共有 27 条基本逻辑指令，其中包含了有些子系列 PLC 的基本逻辑指令。基本逻辑指令一览表如表 3-2 所示。

表 3-2　FX2N 系列基本逻辑指令一览表

助记符	功　　能	格式和操作软元件
LD（取）	常开触点逻辑运算起始（常开触点与左母线连接）	XYMSTC
LDI（取反）	常闭触点逻辑运算起始（常闭触点与左母线连接）	XYMSTC
LDP（取脉冲上升沿）	上升沿检测（检测到信号的上升沿时闭合一个扫描周期）	XYMSTC
LDF（取脉冲下降沿）	下降沿检测（检测到信号的下降沿时闭合一个扫描周期）	XYMSTC
AND（与）	串联连接（常开触点与其他触点或触点组串联连接）	XYMSTC
ANI（与非）	串联连接（常闭触点与其他触点或触点组串联连接）	XYMSTC
ANDP（与脉冲上升沿）	上升沿串联连接（检测到位软元件上升沿信号时闭合一个扫描周期）	XYMSTC
ANDF（与脉冲下降沿）	下降沿串联连接（检测到位软元件下降沿信号时闭合一个扫描周期）	XYMSTC
OR（或）	并联连接（常开触点与其他触点或触点组并联连接）	XYMSTC
ORI（或非）	并联连接（常闭触点与其他触点或触点组并联连接）	XYMSTC
ORP（或脉冲上升沿）	脉冲上升沿检测并联连接（检测到位软元件上升沿信号时闭合一个扫描周期）	XYMSTC
ORF（或脉冲下降沿）	脉冲下降沿检测并联连接（检测到位软元件下降沿信号时闭合一个扫描周期）	XYMSTC
ANB（电路块与）	并联电路块的串联连接（电路块与其他触点或触点组串联连接）	无
ORB（电路块或）	串联电路块的并联连接（电路块与其他触点或触点组并联连接）	无
OUT（输出）	线圈驱动	YMSTC
SET（置 1）	使线圈接通并保持动作	SET　YMS
RST（复零）	使线圈断开，消除动作保持，寄存器清零	RST　YMSTCDVZ M特、D特

（续）

助记符	功　　能	格式和操作软元件
PLS（上升沿脉冲）	上升沿微分输出（当检测到输入脉冲的上升沿时，指令的操作元件闭合一个扫描周期）	PLS YM 除特M
PLF（下降沿脉冲）	下降沿微分输出（当检测到输入脉冲的下降沿时，指令的操作元件闭合一个扫描周期）	PLF YM 除特M
MC（主控指令）	公共串联接点的连接（将左母线临时移到一个所需位置，产生一临时左母线，形成主控电路块）	MC N YM N嵌套数：N0～N7
MCR（主控复位指令）	公共串联接点的消除（取消临时左母线，将左母线返回到原来的位置，结束主控电路块）	MCR N N嵌套数：N0～N7
MPS（进栈指令）	进栈（将逻辑运算结果存入栈存储器，存储器中原来的存储结果依次向栈存储器下层推移）	MPS MRD MPP 无
MRD（读栈指令）	读栈（将存储器一号单元的内容读出，且栈存储器中的内容不发生变化）	
MPP（出栈指令）	出栈（将存储器中一号单元的结果取出，存储器中其他单元的数据依次向上推移）	
INV（取反）	运算结果取反	无
NOP（空操作）	无动作	
END（结束）	输入/输出处理以及返回到 0 步	无 END

3.3.2　三菱 FX 系列基本逻辑指令简介

1. 取指令与输出指令（LD/LDI/ OUT / LDP / LDF）

LD/LDI/ OUT 为逻辑取与输出线圈驱动指令，如表 3-3 所示。

表 3-3　逻辑取与输出线圈驱动指令

符号名称	功能	操作元件
LD（取）	常开触点逻辑运算起始	X、Y、M、S、T、C
LDI（取反）	常闭触点逻辑运算起始	X、Y、M、S、T、C
OUT（输出）	线圈驱动	Y、M、S、T、C

（1）指令的含义

1）LD（取指令）。一个常开触点与左母线连接的指令，每一个以常开触点开始的逻辑

行都用此指令。

2）LDI（取反指令）。一个常闭触点与左母线连接的指令，每一个以常闭触点开始的逻辑行都用此指令。

3）OUT（输出指令）。对线圈进行驱动的指令，也称为输出指令。

4）LDP（取上升沿指令）。与左母线连接的常开触点的上升沿检测指令，仅在指定位元件的上升沿（由 OFF→ON）时接通一个扫描周期。

5）LDF（取下降沿指令）。与左母线连接的常闭触点的下降沿检测指令。

使用示例：取指令与输出指令的使用如图 3-13 所示。

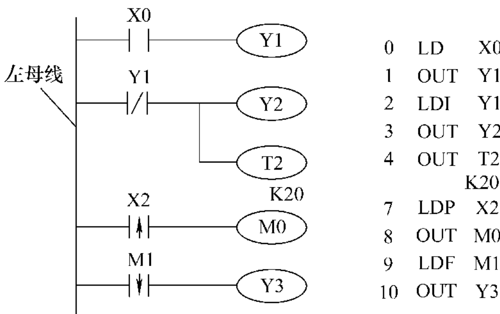


图 3-13　取指令与输出指令的使用

（2）取指令与输出指令的使用说明

1）LD、LDI 指令既可用于输入左母线相连的触点，也可与 ANB、ORB 指令配合操作，目的元件为 X、Y、M、T、C、S，用于分支电路的起点，实现块逻辑运算。

2）LDP、LDF 指令仅在对应元件有效时维持一个扫描周期的接通。如图 3-13 中，当 M1 有一个下降沿时，则 Y3 只有一个扫描周期为 ON。

3）LD、LDI、LDP、LDF 指令的目标元件为 X 、Y 、M 、T、C、S。

4）OUT 指令用于驱动输出继电器、辅助继电器、定时器、计数器、状态继电器，但是不能用来驱动输入继电器，OUT 指令目标元件为 Y、M、T、C 和 S，但不能用于 X。

5）OUT 指令可以并行输出（连续使用若干次），在梯形图中相当于线圈是并联的，但是，输出线圈不能串联使用。

6）在对定时器/计数器使用 OUT 指令后，必须设置时间常数 K，或指定数据寄存器的地址。常数 K 设置如表 3-4 所示。

表 3-4　定时器/计数器时间常数 K 的设定

定时器/计数器	时间常数 K 范围	实际设定范围	步数
1ms	1 ~32767	0.001 ~32.767s	3
10ms		0.01 ~327.67s	3
100ms		0.1 ~3276.7s	3
16 位计数器	1 ~32767	1 ~32767	3
32 位计数器	−2147483648 ~2147483647	−2147483648 ~2147483647	5

2. 触点串联指令（AND/ANI/ANDP/ANDF）

AND/ANI/为触点串联指令，如表 3-5 所示。

表 3-5　触点串联指令

符号名称	功能	操作元件
AND（与）	常开触点串联连接	X、Y、M、S、T、C
ANI（与非）	常闭触点串联连接	X、Y、M、S、T、C

（1）指令的含义

1）AND（与指令）。一个常开触点串联连接指令，完成逻辑“与”运算。

2）ANI（与非指令）。一个常闭触点串联连接指令，完成逻辑“与非”运算。

3）ANDP。上升沿检测串联连接指令。

4）ANDF。下降沿检测串联连接指令。

使用示例：触点串联指令的使用如图 3-14 所示。

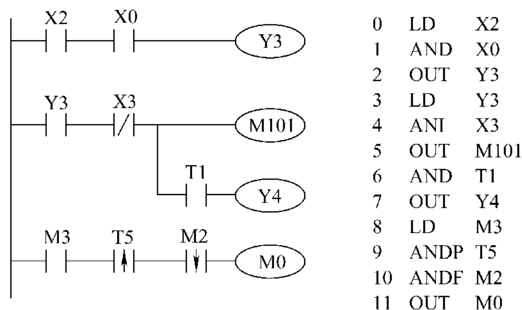


图 3-14　触点串联指令的使用

（2）触点串联指令的使用说明

1）AND、ANI、ANDP、ANDF 都指是单个触点串联连接的指令，串联次数没有限制，可反复使用。

2）AND、ANI、ANDP、ANDF 的目标元件为 X、Y、M、T、C 和 S。

3）当继电器的常开触点或常闭触点与其他继电器的触点组成的电路块串联时，也使用 AND 指令或 ANI 指令。

电路块就是由几个触点按一定的方式连接的梯形图。由两个或两个以上的触点串联而成的电路块，称为串联电路块；由两个或两个以上的触点并联连接而成的电路块，称为并联电路块；触点的混联就称为混联电路块。

3. 触点并联指令（OR/ORI/ORP/ORF）

OR/ORI 为触点并联指令，如表 3-6 所示。

表 3-6　触点并联指令

符号名称	功　能	操作元件
OR（或）	常开触点并联连接	X、Y、M、S、T、C
ORI（或非）	常闭触点并联连接	X、Y、M、S、T、C

（1）指令的含义

1）OR（或指令）。用于单个常开触点的并联，实现逻辑“或”运算。

2）ORI（或非指令）。用于单个常闭触点的并联，实现逻辑“或非”运算。

3）ORP。上升沿检测并联连接指令。

4）ORF。下降沿检测并联连接指令。

使用示例：触点并联指令的使用如图 3-15 所示。

（2）触点并联指令的使用说明

1）OR、ORI、ORP、ORF 指令都是指单个触点的并联，并联触点的左端接到 LD、LDI、

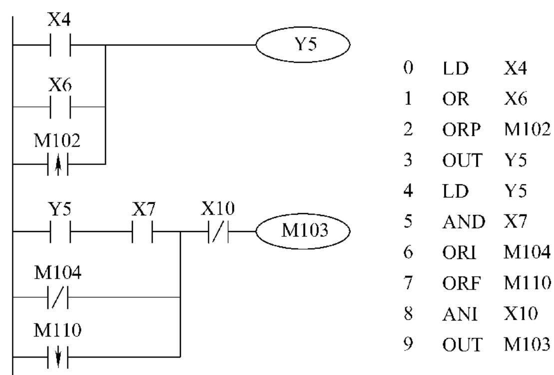


图 3-15　触点并联指令的使用

LDP 或 LPF 处，右端与前一条指令对应触点的右端相连。触点并联指令连续使用的次数不限。

2）OR、ORI、ORP、ORF 指令的目标元件为 X、Y、M、T、C、S。

OR 和 ORI 指令引起的并联，是从 OR 和 ORI 一直并联到前面最近的 LD 和 LDI 指令上，并联的数量不受限制。操作目的元件为 X、Y、M、T、C、S。

4. 块操作指令（ORB / ANB）

（1）ORB（块或指令）

用于两个或两个以上的触点串联连接的电路之间的并联。

使用示例：ORB 指令的使用如图 3-16 所示。

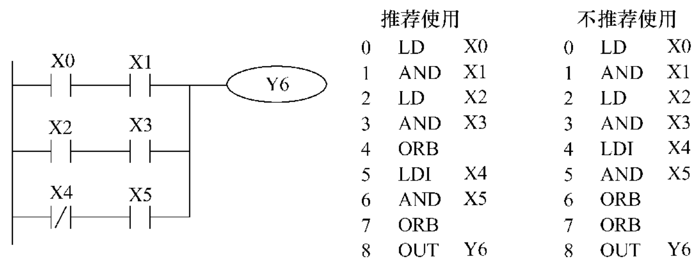


图 3-16　ORB 指令的使用

ORB 指令的使用说明：

1）几个串联电路块并联连接时，每个串联电路块开始时应该用 LD 或 LDI 指令。

2）有多个电路块并联回路，如对每个电路块使用 ORB 指令，则并联的电路块数量没有限制。

3）ORB 指令也可以连续使用，但这种程序写法不推荐使用，LD 或 LDI 指令的使用次数不得超过 8 次，也就是 ORB 只能连续使用 8 次以下。

（2）ANB（块与指令）

用于两个或两个以上触点并联连接的电路之间的串联。

使用示例：ANB 指令的使用如图 3-17 所示。

ANB 指令的使用说明：

1）并联电路块串联连接时，并联电路块的开始均用 LD 或 LDI 指令。

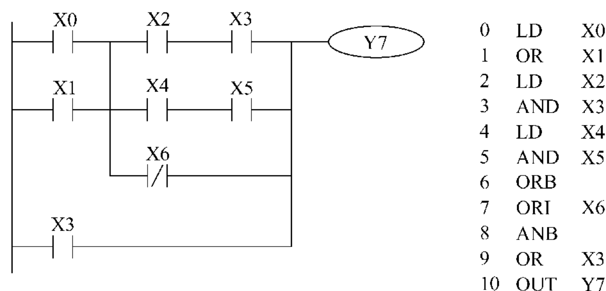


图 3-17　ANB 指令的使用

2）多个并联回路块连接按顺序和前面的回路串联时，ANB 指令的使用次数没有限制。也可连续使用 ANB，但与 ORB 一样，使用次数在 8 次以下。

5. 置位与复位指令（SET/RST）

1）SET（置位指令）。它的作用是使被操作的目标元件置位并保持。

2）RST（复位指令）。使被操作的目标元件复位并保持清零状态。

使用示例：SET、RST 指令的使用如图 3-18 所示。当 X0 常开触点接通时，Y0 变为 ON 状态并一直保持该状态，即使 X0 断开 Y0 的 ON 状态仍维持不变；只有当 X1 的常开触点闭合时，Y0 才变为 OFF 状态并保持，即使 X1 常开触点断开，Y0 也仍为 OFF 状态。

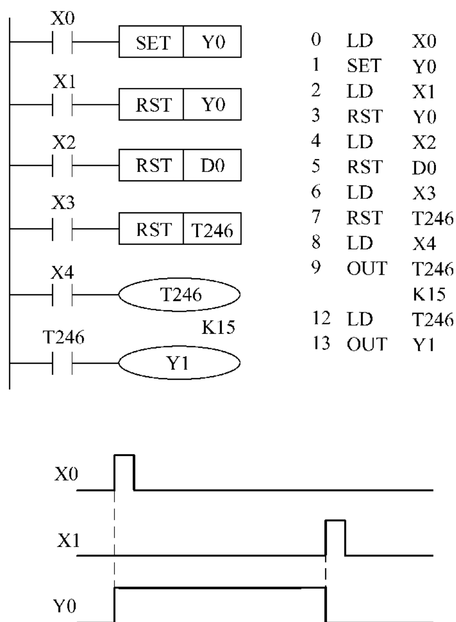


图 3-18　置位与复位指令的使用

SET 、RST 指令的使用说明：

1）SET 指令的目标元件为 Y、M、S，RST 指令的目标元件为 Y、M、S、T、C、D、V 、Z。RST 指令常被用来对 D、Z、V 的内容清零，还用来复位积算定时器和计数器。

2）对于同一目标元件，SET、RST 可多次使用，顺序也可随意，但最后执行者有效。

6. 微分指令（PLS/PLF）

1）PLS（上升沿微分指令）。在输入信号上升沿产生一个扫描周期的脉冲输出。

2）PLF（下降沿微分指令）。在输入信号下降沿产生一个扫描周期的脉冲输出。

使用示例：微分指令的使用如图 3-19 所示，利用微分指令检测到信号的边沿，通过置位和复位命令控制 Y0 的状态。

PLS、PLF 指令的使用说明：

1）PLS、PLF 指令的目标元件为 Y 和 M。

2）使用 PLS 时，仅在驱动输入为 ON 后的一个扫描周期内目标元件 ON，如图 3-19 所示，M0 仅在 X0 的常开触点由断到通时的一个扫描周期内为 ON；使用 PLF 指令时只是利用输入信号的下降沿驱动，其他与 PLS 相同。

7. 主控指令（MC/MCR）

在程序中常常会有这样的情况，多个线圈受一个或多个触点控制，要是在每个线圈的控制电路中都要串入同样的触点，将占用多个存储单元，应用主控指令就可以解决这一问题。

1）MC（主控指令）。用于公共串联触点的连接。执行 MC 后，左母线移到 MC 触点的后面。

2）MCR（主控复位指令）。它是 MC 指令的复位指令，即利用 MCR 指令恢复原左母线的位置。

使用示例：MC、MCR 指令的使用如图 3-20 所示，利用 MC N0 M100 实现左母线右移，使 Y0、Y1 都在 X0 的控制之下，其中 N0 表示嵌套等级，在无嵌套结构中 N0 的使用次数无限制；利用 MCR N0 恢复到原左母线状态。如果 X0 断开则会跳过 MC、MCR 之间的指令向下执行。

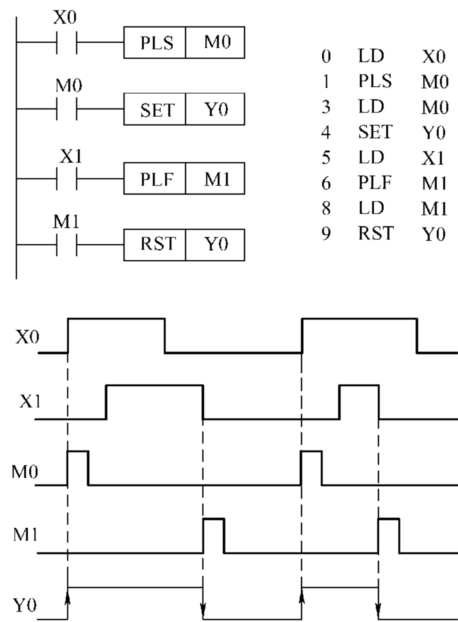


图 3-19　微分指令的使用

MC、MCR 指令的使用说明：

1）MC、MCR 指令的目标元件为 Y 和 M，但不能用特殊辅助继电器。MC 占 3 个程序步，MCR 占 2 个程序步。

2）主控触点在梯形图中与一般触点垂直（如图 3-20 中的 M100）。主控触点是与左母线相连的常开触点，是控制一组电路的总开关。与主控触点相连的触点必须用 LD 或 LDI 指令。

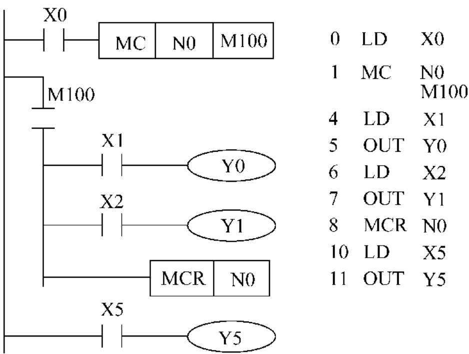


图 3-20　主控指令的使用

3）MC 指令的输入触点断开时，在 MC 和 MCR 之内的积算定时器、计数器、用复位/置位指令驱动的元件保持其之前的状态不变。非积算定时器和计数器，用 OUT 指令驱动的元件将复位，如图 3-20 中当 X0 断开，Y0 和 Y1 即变为 OFF。

4）在一个 MC 指令区内若再使用 MC 指令称为嵌套。嵌套级数最多为 8 级，编号按 N0→N1→N2→N3→N4→N5→N6→N7 顺序增大，每级的返回用对应的 MCR 指令，从编号大的嵌套级开始复位。

8. 堆栈指令（MPS/MRD/MPP）

堆栈指令是 FX 系列中新增的基本指令，用于多重输出电路，为编程带来便利。在 FX 系列 PLC 中有 11 个存储单元，它们专门用来存储程序运算的中间结果，被称为栈存储器。

1）MPS（进栈指令）。将运算结果送入栈存储器的第一段，同时将先前送入的数据依次移到栈的下一段。

2）MRD（读栈指令）。将栈存储器的第一段数据（最后进栈的数据）读出且该数据继续保存在栈存储器的第一段，栈内的数据不发生移动。

3）MPP（出栈指令）。将栈存储器的第一段数据（最后进栈的数据）读出且该数据从栈中消失，同时将栈中其他数据依次上移。

使用示例：堆栈指令的使用如图 3-21 所示，其中图 3-21a 为一层栈，进栈后的信息可无限使用，最后一次使用 MPP 指令弹出信号；图 3-21b 为二层栈，它用了两个栈单元。

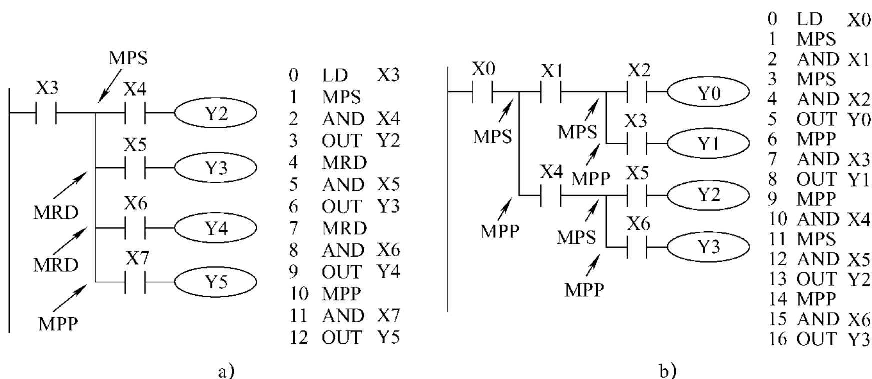


图 3-21　堆栈指令的使用

a）一层栈　b）二层栈

堆栈指令的使用说明：

1）堆栈指令没有目标元件。

2）MPS 和 MPP 必须配对使用。

3）由于栈存储单元只有 11 个，所以栈的层次最多为 11 层。

9．逻辑反、空操作与结束指令（INV/NOP/END）

（1）INV（反指令）

执行该指令后将原来的运算结果取反。

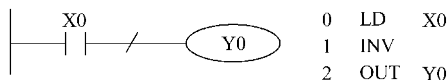


图 3-22　反指令的使用

使用示例：反指令的使用如图 3-22 所示，如果 X0 断开，则 Y0 为 ON，否则 Y0 为 OFF。使用时应注意 INV 不能像指令表的 LD、LDI、LDP、LDF 那样与母线连接，也不能像指令表中的 OR、ORI、ORP、ORF 指令那样单独使用。

（2）NOP（空操作指令）

不执行操作，但占一个程序步。执行 NOP 时并不做任何事，有时可用 NOP 指令短接某些触点或用 NOP 指令将不要的指令覆盖。当 PLC 执行了清除用户存储器操作后，用户存储器的内容全部变为空操作指令。

（3）END（结束指令）

无操作元件，其功能是输入/输出处理和返回到 0 步程序。若程序的最后不写 END 指令，则 PLC 不管实际用户程序多长，都从用户程序存储器的第一步执行到最后一步；若有 END 指令，当扫描到 END 时，则结束执行程序，这样可以缩短扫描周期。执行 END 指令时，也刷新监视定时器，检测扫描周期是否过长。在程序调试时，可在程序中插入若干 END 指令，将程序划分若干段，在确定前面程序段无误后，依次删除 END 指令，直至调试结束。

第 4 章　PLC 的功能指令与步进梯形指令

4.1　PLC 的指令系统

4.1.1　指令系统概述

为适应控制系统的其他控制要求，在基本逻辑指令的基础上，PLC 制造厂家开发了一系列完成不同功能的子程序，调用这些子程序的指令称为应用指令，也称功能指令。应用指令的出现大大拓宽了 PLC 的应用范围，也给用户编制程序带来了极大方便。FX 系列 PLC 的应用指令可分为程序控制、传送与比较、算术与逻辑运算、移位与循环等。FX 系列 PLC 有多达 100 多条应用指令，由于篇幅的限制，本章仅对比较常用的应用指令做详细介绍，其余的可参阅 FX 系列 PLC 编程手册。

4.1.2　指令系统的表示形式

1. 应用指令的基本格式

功能指令同一般的汇编指令相似，也是由操作码和操作数两大部分组成。用功能框表示功能指令，即在功能框中用通用的助记符形式来表示，如图 4-1 所示。该图中 X0 常开触点是功能指令的执行条件，其后的方框即为功能指令。

一般功能指令都是以指定的功能号来表示，如 FNC45。为了便于记忆，每个功指令都有一个助记符，对应 FNC45 的助记符是 MEAN，表示“求平均值”。这样就能见名知义，比较直观。在编程器或 FXGP 软件中输入功能指令时，输入的是功能号 FNC45，显示的却是助记符 MEAN。不过，在 FXGP 软件中也可直接输入助记符 MEAN。

（1）操作码部分

功能框第一段为操作码部分，表达了该指令做什么。

（2）操作数部分

功能框的第一段之后都为操作数部分，表达了参加指令操作的操作数在哪里。

操作数部分组成：

源操作数（源）目标操作数（目）数据个数

图 4-1 中源操作数为 D0、D1、D2，目标操作数为 D4Z0（Z0 为变址寄存器），K3 表示有 3 个数，当 X0 接通时，执行的操作为[（D0）+（D1）+（D2）]÷3→（D4Z0），如果 Z0 的内容为 20，则运算结果送入 D24 中，当 X0 断开时，此指令不执行。

操作数排列次序：源在前，目在后，数据个数在最后，有些功能指令还要求多个操作数，也有的功能指令不需要操作数。

有的应用指令没有操作数，而大多数应用指令有 1 ~ 4 个操作数。图 4-1 所示为一个计算平均值指令，它有三个操作数，［S.］表示源操作数，［D.］表示目标操作数，如果使用

变址功能，则可表示为［S.］和［D.］。源或目标不止一个时，用［S1.］、［S2.］、［D1.］、［D2.］表示。用 n 和 m 表示其他操作数，它们常用来表示常数 K 和 H，或作为源和目标操作数的补充说明，当这样的操作数多时可用 n1、n2 和 m1、m2 等来表示。

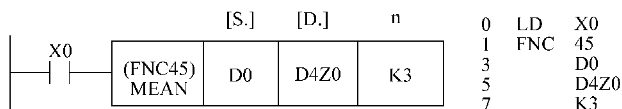


图 4-1　应用指令表示格式

2. 应用指令的执行方式与数据长度

（1）连续执行与脉冲执行

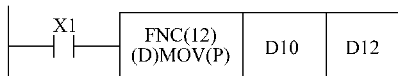


图 4-2　功能指令的执行方式与数据长度的表示

应用指令有连续执行和脉冲执行两种类型。如图 4-2 所示，指令助记符 MOV 后面有 P 则表示脉冲执行，即该指令只在 X1 接通（由 OFF 到 ON）时执行（将 D10 中的数据送到 D12 中）一次；如果没有 P 则表示连续执行，即该在 X1 接通（ON）的每一个扫描周期指令都要被执行。

（2）数据长度

应用指令可处理 16 位数据或 32 位数据。处理 32 位数据的指令是在助记符前加 D 标志，无此标志即为处理 16 位数据的指令。

1）功能指令中的 16 位数据。几乎所有寄存器的二进制位数都是 16 位，所以功能指令中 16 位的数据都是以缺省形式给出。图 4-3 所示为一条 16 位 MOV 指令。

MOV 指令的含义是，当 X000 接通时，将十进制数 100 传送到 16 位的数据寄存器 D10 中去；当 X000 断开时，该指令被跳过不执行，源和目的内容都不变。

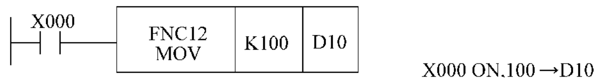


图 4-3　16 位 MOV 指令

2）功能指令中的 32 位数据。功能指令也能处理 32 位数据，这时需要指令前缀符号（D）。图 4-4 所示为一条 32 位 MOV 指令。

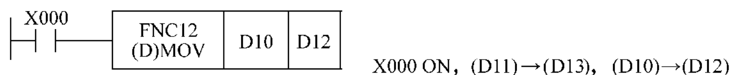


图 4-4　32 位 MOV 指令

凡是能前缀显式符号（D）的功能指令，就能处理 32 位数据。32 位数据是由两个相邻寄存器构成的，但在指令中写出的是低位地址，源和目的都是这样表达的。所以对图 4-4 所示 32 位 MOV 指令含义应该这样来理解：当 X000 接通时，将由 D11 和 D10 组成的 32 位的源的数据传送到由 D13 和 D12 组成的目标地址中去。要避免出现类似的图 4-5 所示指令的错误：源由 D11 和 D10 组成，而目则由 D12 和 D11 组成，这里 D11 是源、目的重复使用，就会引起出错。所以建议 32 位数据

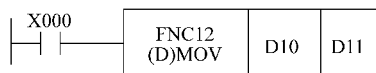


图 4-5　错误 32 位 MOV 指令

首地址用偶地址。

注意：32 位计数器 C200 ~ C255 不能作为 16 位指令操作数。

3. 应用指令的数据格式

X、Y、M、S 等只处理 ON/OFF 信息的软元件为位元件；而 T、C、D 等处理数值的软元件则称为字元件，一个字元件由 16 位二进制数组成。位元件与字元件如表 4-1 所示。

表 4-1　位元件与字元件

字　元　件	位　元　件
K：十进制整数	X：输入继电器
H：十六进制整数	Y：输出继电器
K_nX：输入继电器 X 的位指定	M：辅助继电器
K_nY：输出继电器 Y 的位指定	S：状态继电器
K_nS：状态继电器 S 的位指定	
T：定时器 T 的当前值	
C：计数器 C 的当前值	
D：数据寄存器	
V、Z：变址寄存器	

（1）功能指令中的字元件

一个字元件由 16 位的存储单元构成，最高位（第 15 位）为符号位，第 0 ~ 14 位为数值位。图 4-6所示为 16 位数据寄存器 D0 图示。

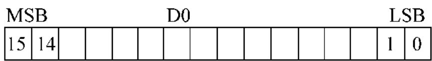


图 4-6　字元件

可以使用两个字元件组成双字元件，以组成 32 位数据操作数。双字元件是由相邻的寄存器组成，在图 4-7 中由 D11 和 D10 组成。低 16 位数据存放在低位元件 D11 中，高 16 位数据存放在高位元件 D11 中，存放原则是：低对低，高对高。双字元件中第 31 位为符号位，第 0 ~ 30 位为数值位。

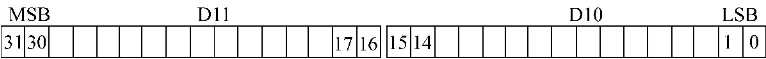


图 4-7　双字元件

注意：在指令中使用双字元件时，一般只用其低位地址表示这个元件，但高位元件也将同时被指令使用。建议用偶数作为双字元件的地址。

（2）功能指令中的位元件

位元件只有 ON 或 OFF 两种状态，是用一个二进制位就能表达的元件，如 X、Y、M、S 等。功能指令中也能使用由只含一个位的位元件，以及位元件组合。位元件组合成组合元件的方法：将多个位元件按四位一组的原则来组合，也就是说用 4 位 BCD 码来表示 1 位十进制数，这样就能在程序中使用十进制数据了。组合方法的助记符是 K_n + 最低位位元件号，如 K_nX、K_nY、K_nM 即是位元件组合，其中 K 表示后面跟的是十进制数，n 表示四位一组的组数，16 位数据：K1 ~ K4，32 位数据：K1 ~ K8。

数据中的最高位是符号位。如 K2M0 由 M0 ~ M3 和 M4 ~ M7 两组的位元件组成一个 8 位

数据，其中 M7 是最高位，M0 是最低位；K4M10 由 M10 ~ M25 的四组位元件组成一个 16 位数据，其中 M25 是最高位，M10 是最低位。

注意：

1）当一个 16 位数据传送到目标元件 K1M0 ~ K3M0 时，由于目标元件不到 16 位，所以将只传送 16 位数据中的低位数据，高位数据将不传送。32 位数据传送也一样。

2）由于数据只能是 16 位或 32 位这两种格式，因此当用 K1 ~ K3 组成字时，其高位不足 16 位部分均作 0 处理。如执行图 4-8 所示指令时，源的数据只有 12 位，而目标寄存器 D20 是 16 位的，传送结果 D20 的高 4 位自动添 0，如图 4-9 所示。这时最高位的符号位必然是 0，也就是说，只能是正数（符号位的判别是：正 0 负 1）。



图 4-8　源的数据不足 16 位

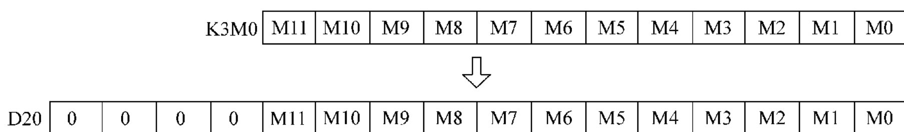


图 4-9　目高 4 位自动添 0

3）由位元件组成组合位元件时，最低位元件号可以任意给定，如 X000、X001 和 Y005 均可。但习惯上采用以 0 结尾的位元件，如 X000、X010 和 Y020 等。

4. 变址操作

FX2N 的 16 个变址寄存器 V 和 Z 都是 16 位的（FX0N 和 FX0S 只有两个变址寄存器 V 和 Z），即 V0 ~ V7、Z0 ~ Z7。除了能作为通用数据寄存器之外，主要用于运算操作数地址的修改，在传送、比较等指令中用来改变操作对象的元件地址，循环程序中也常使用变址寄存器。变址方法是将 V、Z 放在各种寄存器的后面，充当操作数地址的偏移量。操作数的实际地址就是寄存器的当前值和 V 或 Z 中的内容相加的值。

源的或目的寄存器用［S.］或［D.］表示时，就能进行变址操作。当进行 32 位数据操作时，V、Z 自动组对成 32 位（V、Z）来使用，这时 Z 为低 16 位，而 V 充当高 16 位。可以用变址寄存器进行变址的软元件是 X、Y、M、S、P、T、C、D、K、H、K_nX、K_nY、K_nM、K_nS。

例如，求图 4-10 所示的梯形图中，执行加法操作后，源和目的操作数的实际地址。

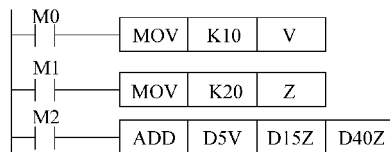


图 4-10　变址操作示例

第一行指令执行 10→V，第二行指令执行 20→Z，所以变址寄存器的值为，V = 10，Z = 20，第三行指令执行（D5V）+（D15Z）→（D40Z）。

［S1.］为 D5V：　　D（5 + 10）= D15　　源操作数 1 的实际地址

［S2.］为 D15Z：　　D（15 + 20）= D35　　源操作数 2 的实际地址

［D.］为 D40Z：　　D（40 + 20）= D60　　目的操作数的实际地址

所以，第三行指令实际执行：

（D15）+（D35）→（D60），即 D15 的内容和 D35 的内容相加，结果送入 D60 中去。

4.1.3　程序流向控制指令

程序流向控制指令（FNC00～FNC09）如表 4-2 所示。

表 4-2　程序流向控制指令

功能编号	指令记号	指令名称	功能编号	指令记号	指令名称
FNC00	CJ	条件跳转	FNC05	DI	禁止中断
FNC01	CALL	子程序调用	FNC06	FEND	主程序结束
FNC02	SRET	子程序返回	FNC07	WDT	监视（看门狗）定时器
FNC03	IRET	中断返回	FNC08	FOR	重复范围开始
FNC04	EI	允许中断	FNC09	NEXT	重复范围结束

1.　条件跳转指令 CJ

CJ 和 CJ（P）指令用于跳过顺序程序的某一部分，以减少扫描时间。

示例及使用：条件跳转指令 CJ（P）的编号为 FNC00，操作数为指针标号 P0～P127，其中 P63 为 END 所在步序，不需标记。指针标号允许用变址寄存器修改。CJ 和 CJ（P）都占 3 个程序步，指针标号占 1 步。如图 4-11 所示，当 X20 接通时，则由 CJ P9 指令跳到标号为 P9 的指令处开始执行，跳过了程序的一部分，减少了扫描周期。如果 X20 断开，跳转不会执行，则程序按原顺序执行。

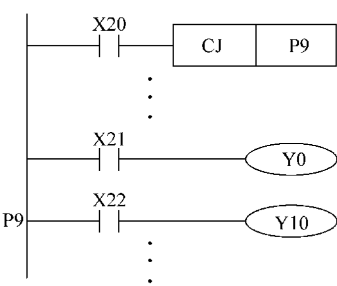


图 4-11　跳转指令的使用

使用跳转指令时应注意：

1）CJ（P）指令表示为脉冲执行方式。

2）在一个程序中一个标号只能出现一次，否则将出错。

3）在跳转执行期间，即使被跳过程序的驱动条件改变，但其线圈（或结果）仍保持跳转前的状态，因为跳转期间根本没有执行这段程序。

4）如果在跳转开始时定时器和计数器已在工作，则在跳转执行期间它们将停止工作，到跳转条件不满足后又继续工作。但对于正在工作的定时器 T192～T199 和高速计数器 C235～C255 不管有无跳转仍连续工作。

5）定时器和计数器的复位（RST）指令即使在跳转区外，它们的线圈如果被跳转，但对它们的复位仍然有效。

2.　子程序调用与子程序返回指令

子程序调用指令 CALL 的编号为 FNC01。操作数为 P0～P127，此指令占用 3 个程序步。

子程序返回指令 SRET 的编号为 FNC02。无操作数，占用 1 个程序步。

示例及使用：如图 4-12 所示，如果 X0 接通，则转到标号 P10 处去执行子程序。当执行 SRET 指令时，返回到 CALL 指令的下一步执行。

使用子程序调用与返回指令时应注意：

1）转移标号不能重复，也不可与跳转指令的标号重复。

2）子程序可以嵌套调用，最多可嵌套 5 级。

3. 与中断有关的指令

中断是一种工作方式，PLC 通常处于禁止中断状态，由 EI 和 DI 指令组成允许中断范围。即主程序的执行过程中，遇到中断请求时，暂停主程序执行，转而执行中断服务程序，中断服务程序执行完毕，再返回继续执行主程序。

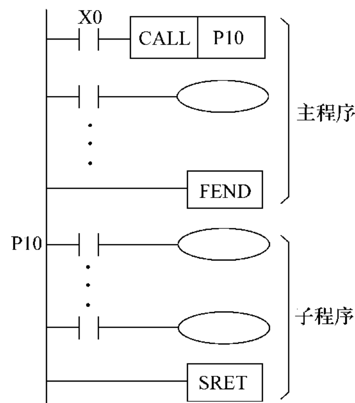


图 4-12　子程序调用与返回指令的使用

与中断有关的三条功能指令是：中断返回指令 IRET，编号为 FNC03；允许中断指令 EI，编号为 FNC04；禁止中断指令 DI，编号为 FNC05。它们均无操作数，占用 1 个程序步。

示例及使用：如图 4-13 所示，允许中断范围中若中断源 X0 有一个下降沿，则转入 I000 为标号的中断服务程序，但 X0 可否引起中断还受 M8050 控制，当 X20 有效时则 M8050 控制 X0 无法中断。

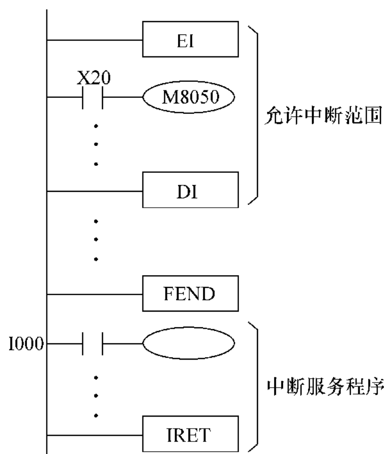


图 4-13　中断指令的使用

使用中断相关指令时应注意：

1）中断的优先级排队如下，如果多个中断依次发生，则以发生先后为序，即发生越早级别越高，如果多个中断源都发出信号，则中断指针编号越小优先级越高。

2）当 M8050 ~ M8058 为 ON 时，禁止执行相应 I0□□ ~ I8□□的中断，M8059 为 ON 时则禁止所有计数器中断。

3）无须中断禁止时，可只用 EI 指令，不必用 DI 指令。

4）执行一个中断服务程序时，如果在中断服务程序中有 EI 和 DI，可实现二级中断嵌套，否则禁止其他中断。

4. 主程序结束指令

主程序结束指令 FEND 的编号为 FNC06，无操作数，占用 1 个程序步。FEND 表示主程序结束，当执行到 FEND 时，PLC 进行输入/输出处理，监视定时器刷新，完成后返回启始步。

使用 FEND 指令时应注意：

1）子程序和中断服务程序应放在 FEND 之后。

2）子程序和中断服务程序必须写在 FEND 和 END 之间，否则出错。

5. 监视定时器指令

监视定时器指令 WDT（P）的编号为 FNC07，没有操作数，占有 1 个程序步。WDT 指令的功能是对 PLC 的监视定时器进行刷新。

示例及使用：FX 系列 PLC 的监视定时器默认值为 200ms（可用 D8000 来设定），正常情况下 PLC 扫描周期小于此定时时间。如果由于有外界干扰或程序本身的原因使扫描周期大于监视定时器的设定值，使 PLC 的 CPU 出错灯亮并停止工作，可通过在适当位置加 WDT

指令复位监视定时器，以使程序能继续执行到 END。

如图 4-14 所示，利用一个 WDT 指令将一个 240ms 的程序一分为二，使它们都小于 200ms，则不再会出现报警停机。

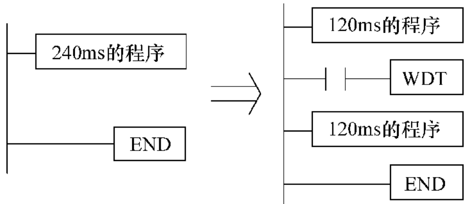


图 4-14　监控定时器指令的使用

使用 WDT 指令时应注意：

1）如果在后续的 FOR－NEXT 循环中，执行时间可能超过监控定时器的定时时间，可将 WDT 插入循环程序中。

2）当与条件跳转指令 CJ 对应的指针标号在 CJ 指令之前时（即程序往回跳）就有可能连续反复跳步使它们之间的程序反复执行，使执行时间超过监控时间，可在 CJ 指令与对应标号之间插入 WDT 指令。

6. 循环指令

功能是 FOR 与 NEXT 间的程序被反复执行，执行次数由 FOR 指令的源操作数设定，执行完成后，执行 NEXT 后面指令。

循环指令共有两条：循环起点指令 FOR，编号为 FNC08，占 3 个程序步；循环结束指令 NEXT，编号为 FNC09，占用 1 个程序步，无操作数。

在程序运行时，位于 FOR－NEXT 间的程序反复执行 n 次（由操作数决定）后再继续执行后续程序。循环的次数 $n=1\sim32767$。如果 n 在 $-32767\sim0$ 之间，则当作 $n=1$ 处理。

示例及使用：图 4-15 所示为一个二重嵌套循环，外层执行 5 次。如果 D0Z0 中的数为 6，则外层 A 每执行一次则内层 B 将执行 6 次。

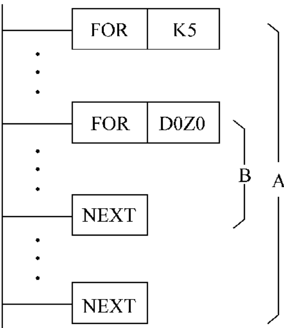


图 4-15　循环指令的使用

使用循环指令时应注意：

1）FOR 和 NEXT 必须成对使用。

2）FX2N 系列 PLC 可循环嵌套 5 层。

3）在循环中可利用 CJ 指令在循环没结束时跳出循环体。

4）FOR 应放在 NEXT 之前，NEXT 应在 FEND 和 END 之前，否则均会出错。

4.1.4　传送与比较指令

传送与比较指令（FNC10～FNC19）如表 4-3 所示。

表 4-3　传送与比较指令

功能编号	指令记号	指令名称	功能编号	指令记号	指令名称
FNC10	CMP	比较	FNC15	BMOV	块传送
FNC11	ZCP	区间比较	FNC16	FMOV	多点传送
FNC12	MOV	传送	FNC17	XCH	数据的交换
FNC13	SMOV	移位传送	FNC18	BCD	BCD 码的交换
FNC14	CML	反相传送	FNC19	BIN	BIN 码的交换

1. 比较与区间比较指令

比较指令包括 CMP（比较）和 ZCP（区间比较）两条，如表 4-4 所示。

表 4-4　CMP（比较）、ZCP（区间比较）指令

功能编号	助记符	功能	操作软元件			
			S1.	S2.	S.	D.
FNC10	CMP	将源的操作软元件 S1 与 S2 的内容比较	K、H、K_nX、K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V、Z			X、Y、M、S、T、C、D、V、Z
FNC11	ZCP	S 与 S1、S2 区间比较				

（1）比较指令 CMP

（D）CMP（P）指令的功能是将源的操作数［S1.］和［S2.］数据进行比较，比较结果用目标元件［D.］的状态来表示。

示例及使用：如图 4-16 所示，当 X1 为接通时，把常数 100 与 C20 的当前值进行比较，比较的结果送入 M0 ~ M2 中。X1 为 OFF 时不执行，M0 ~ M2 的状态也保持不变。

（2）区间比较指令 ZCP

（D）ZCP（P）指令的功能是将源的操作数［S.］与［S1.］和［S2.］的内容进行比较，并比较结果送到目标操作数［D.］中。

示例及使用：如图 4-17 所示，当 X0 为 ON 时，把 C30 当前值与 K100 和 K120 相比较，将结果送 M3、M4、M5 中。X0 为 OFF，则 ZCP 不执行，M3、M4、M5 不变。

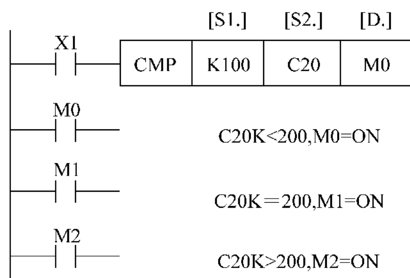


图 4-16　比较指令的使用

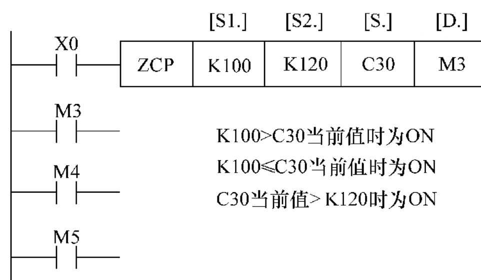


图 4-17　区间比较指令的使用

使用指令 CMP/ZCP 时应注意：

1）［S1.］、［S2.］可取任意数据格式，目标操作数［D.］可取 Y、M 和 S。

2）使用 ZCP 时，［S2.］的数值不能小于［S1.］。

3）所有的源的数据都被看成二进制值处理。

2. 传送类指令

（1）传送指令 MOV

MOV（传送）指令如表 4-5 所示。

表 4-5　MOV（传送）指令

功能编号	助记符	功能	操作软元件		D 连续执行	P 脉冲执行
			S	D		
FNC12	MOV	将源的操作元件的数据传送到指定的目标操作元件	K、H、K_nX、K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V、Z	K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V、Z	+	+

（D）MOV（P）指令的功能是将源的数据传送到指定的目标。如图 4-18 所示，当 X0 为 ON 时，则将［S.］中的数据 K100 传送到目标操作元件［D.］即 D10 中。在指令执行时，常数 K100 会自动转换成二进制数。当 X0 为 OFF 时，则指令不执行，数据保持不变。

使用 MOV 指令时应注意：

1）源操作数可取所有数据类型，目标操作数可以是 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V、Z。

2）16 位运算时占 5 个程序步，32 位运算时则占 9 个程序步。

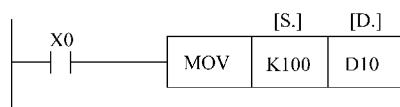


图 4-18　传送指令的使用

（2）移位传送指令 SMOV

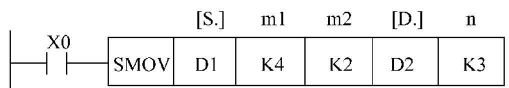
SMOV（P）指令的编号为 FNC13。该指令的功能是将源数据（二进制）自动转换成 4 位 BCD 码，再进行移位传送，传送后的目标操作数元件的 BCD 码自动转换成二进制数。

如图 4-19 所示，当 X1 为 ON 时，将 D1 中右起第 4 位（m1 = 4）开始的 2 位（m2 = 2）BCD 代码移到目标操作数 D2 的右起第 3 位（n = 3）和第 2 位。然后 D2 中的 BCD 码会自动转换为二进制数，而 D2 中的第 1 位和第 4 位 BCD 码不变。

使用移位传送指令时应该注意：

1）源操作数可取所有数据类型，目标操作数可为 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V、Z。

2）SMOV 指令只有 16 位运算，占 11 个程序步。



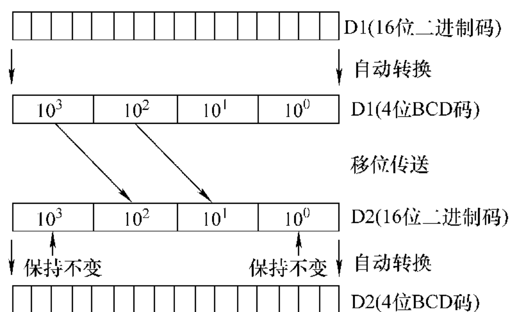


图 4-19　移位传送指令的使用

（3）取反传送指令 CML

（D）CML（P）指令的编号为 FNC14。它是将源的操作数元件的数据逐位取反，并传送到指定目标。

如图 4-20 所示，当 X0 为 ON 时，执行 CML，将 D0 的低 4 位取反向后传送到 Y3 ~ Y0 中。

使用取反传送指令 CML 时应注意：

1）源的操作数可取所有数据类型，目标操作数可为 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V、Z，若源数据为常数 K，则该数据会自动转换为二进制数。

2）16 位的操作运算用 5 个程序步，32 位的操作运算用 9 个程序步。

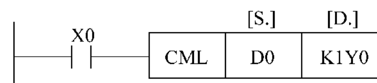


图 4-20　取反传送指令的使用

（4）块传送指令 BMOV

BMOV（P）指令的编号为 FNC15，是将源的操作数指定的元件开始的 n 位数据组成数据块传送到指定的目标。

如图 4-21 所示，传送顺序既可从高元件号开始，也可从低元件号开始，传送顺序自动决定。若需要位元件指定位数，源的操作数和目标的操作数的指定位数应相同。

使用块传送指令时应注意：

1）源的操作数可取 K_nX、K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D 和文件寄存器，目标操作数可取 K_nT、K_nM、K_nS、T、C 和 D。

2）只有 16 位操作，占 7 个程序步。

3）如果元件号超出允许范围，数据则仅传送到允许范围的元件。

图 4-21　块传送指令的使用

（5）多点传送指令 FMOV

（D）FMOV（P）指令的编号为 FNC16。它的功能是将源地址中的数据传送到指定目标开始的 n 个元件中，这 n 个元件中的数据完全相同，指令中给出的是目标元件的首地址。常用于对某一段数据寄存器的清零或置相同的初始值。

如图 4-22 所示，当 X0 为 ON 时，把 K0 传送到 D0 ~ D9 中。

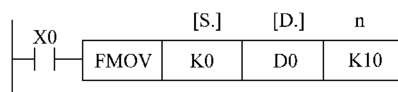


图 4-22　多点传送指令的使用

使用多点传送指令 FMOV 时应注意：

1）源操作数可取所有的数据类型，目标操作数可取 K_nX、K_nM、K_nS、T、C 和 D，n 小于等于 512。

2）16 位操作运算时占 7 个程序步，32 位操作运算时则占 13 个程序步。

3）如果元件号超出允许范围，数据仅送到允许范围的元件中。

3. 数据交换指令

数据交换指令（D）XCH（P）的编号为 FNC17，它是将数据在指定的目标元件之间交换。如图 4-23 所示，当 X0 为 ON 时，将 D1 和 D19 中的数据相互交换。



图 4-23　数据交换指令的使用

使用数据交换指令应该注意：

1）操作数的元件可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z。

2）交换指令一般采用脉冲执行方式，否则在每一次扫描周期都要交换一次。

3）16 位运算时占 5 个程序步，32 位运算时占 9 个程序步。

4. 数据变换指令

BCD（转换指令）、BIN（二进制转换指令）指令如表 4-6 所示。

表 4-6　BCD（转换指令）**、BIN**（二进制转换指令）

功能编号	助记符	功能	操作软元件		D	P
			S	D		
FNC18	BCD	将源的操作软元件的二进制数据转换成 BCD 码传送到指定的目标操作元件中	K_nX、K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V、Z	K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V、Z	+	+
FNC 19	BIN	将源的操作元件的 BCD 码转换成二进制数据传送到指定的目标操作元件中	K_nX、K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V、Z	K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V、Z	+	+

（1）BCD 变换指令 BCD

（D）BCD（P）指令的功能是将源元件中的二进制数转换成 BCD 码送到目标元件中，如图 4-24 所示。

如果指令进行 16 位操作时，执行结果超出 0～9999 范围将会出错；当指令进行 32 位操作时，执行结果超过 0～99999999 范围也将出错。PLC 中内部的运算为二进制运算，可用 BCD 指令将二进制数变换为 BCD 码输出到七段显示器。

（2）BIN 变换指令 BIN

（D）BIN（P）指令的功能是将源元件中的 BCD 数据转换成二进制数据送到目标元件中，如图 4-24 所示。常数 K 不能作为本指令的操作元件，因为在任何处理之前它们都会被转换成二进制数。

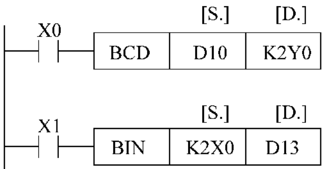


图 4-24　数据变换指令的使用

使用 BCD/BIN 指令时应注意：

1）源操作数可取 K_nX、K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z，目标操作数可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z。

2）16 位操作运算时占 5 个程序步，32 位操作运算时占 9 个程序步。

4.1.5　算术和逻辑运算指令

算术和逻辑运算指令（FNC20～FNC29）如表 4-7 所示。

表 4-7　算术和逻辑运算指令

功能编号	指令记号	指令名称	功能编号	指令记号	指令名称
FNC20	ADD	BIN 加法	FNC25	DEC	BIN 递减
FNC21	SUB	BIN 减法	FNC26	WAND	逻辑与
FNC22	MUL	BIN 乘法	FNC27	WOR	逻辑或
FNC23	DIV	BIN 除法	FNC28	WXOR	逻辑异或
FNC24	INC	BIN 加法递增	FNC29	NEG	求补

1. 算术运算指令

（1）加法指令 ADD

（D）ADD（P）指令的编号为 FNC20。它是将指定的源元件中的二进制数相加，结果送到指定的目标元件中去。

示例及使用：如图 4-25 所示，当 X0 为 ON 时，执行（D10）+（D12）→（D14）。

（2）减法指令 SUB

（D）SUB（P）指令的编号为 FNC21。它是将［S1.］指定元件中的内容以二进制形式减去［S2.］指定元件中的内容，其结果存入由［D.］指定的元件中。

示例及使用：如图 4-26 所示，当 X0 为 ON 时，执行（D10）-（D12）→（D14）。

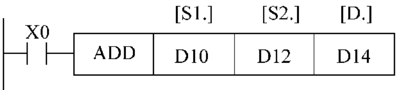


图 4-25　加法指令的使用

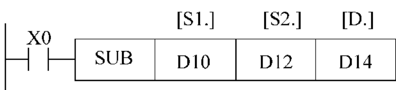


图 4-26　减法指令的使用

使用加法和减法指令时应该注意：

1）操作数可取所有数据类型，目标操作数可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z。

2）16 位操作运算时占 7 个程序步，32 位操作运算时占 13 个程序步。

3）数据为有符号二进制数，最高位为符号位（0 为正，1 为负）。

4）加法指令有三个标志：零标志（M8020）、借位标志（M8021）和进位标志（M8022）。当运算结果超过 32767（16 位运算）或 2147483647（32 位运算），则进位标志置 1；当运算结果小于 －32767（16 位运算）或 －2147483647（32 位运算），则借位标志就会置 1。

（3）乘法指令 MUL

乘法指令 MUL［S1.］［S2.］［D.］，其中［S1.］［S2.］分别为作为被乘数和乘数的源元件，［D.］为存放相乘积的目标元件。MUL 指令的功能是将指定的［S1.］、［S2.］源元件中的数，进行二进制代数乘法运算，然后将相乘结果积送入指定的目标元件中。16 位运算如图 4-27a 所示，32 位运算如图 4-27b 所示。

示例及使用：在 32 位运算中，若利用位元件作目标，只能得低 32 位的结果，不能得到高 32 位的结果。这时应先将数据移入字元件再进行计算，利用字元件作目标时，不可能同时监视 64 位数据内容，只能通过监控运算结果的高 32 位和低 32 位并利用式：64 位结果 =（高 32 位数据）×232 + 低 32 位数据，来计算 4 位数据内容，这种情况下，建议最好采用浮点运算。

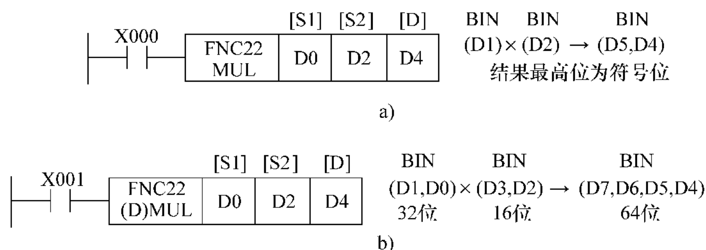


图 4-27　乘法指令的使用

a）16 位运算示例　b）32 位运算示例

（4）除法指令 DIV

功能是将［S1.］指定为被除数，［S2.］指定为除数，将除得的结果送到［D.］指定的目标元件中，余数送到［D.］的下一个元件中。

示例及使用：如图 4-28 所示，当 X0 为 ON 时（D0）÷（D2）→（D4）商，（D5）余数（16 位除法）；当 X1 为 ON 时（D1，D0）÷（D3，D2）→（D5，D4）商，（D7，D6）余数（32 位除法）。

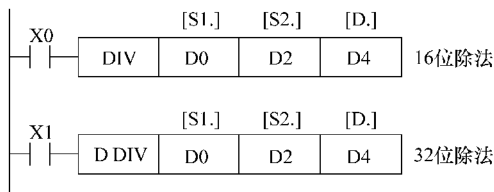


图 4-28　除法指令的使用

使用乘法和除法指令时应注意：

1）源操作数可取所有数据类型，目标操作数可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z，要注意 Z 只有在 16 位乘法时能用，32 位则不能用。

2）16 位操作运算时占 7 个程序步，32 位操作运算时为 13 个程序步。

3）32 位乘法运算中，如果位元件作目标，则只能得到乘积的低 32 位，高 32 位将丢失，这种情况下应先将数据移入字元件再运算；在除法运算中，将位元件指定为［D.］，则

无法得到余数，除数为 0 时发生运算错误。

4）积、商和余数的最高位为符号位。

（5）加 1 和减 1 指令

加 1 指令（D）INC（P）的编号为 FNC24；减 1 指令（D）DEC（P）的编号为 FNC25。INC 和 DEC 指令分别是当条件满足则将指定元件的内容加 1 或减 1。

示例及使用：如图 4-29 所示，当 X0 为 ON 时，（D10）+1→（D10）；当 X1 为 ON 时，（D11）+1→（D11）。若指令是连续指令，则每个扫描周期均做一次加 1 或减 1 运算。

使用加 1 和减 1 指令时应注意：

1）指令的操作数可为 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V、Z。

2）当进行 16 位操作时为 3 个程序步，32 位操作时为 5 个程序步。

3）在 INC 运算时，如数据为 16 位，则由 +32767 再加 1 变为 -32768，但标志位不能置位；同样，32 位运算由 +2147483647 再加 1 就变为 -2147483648 时，标志位也不能置位。

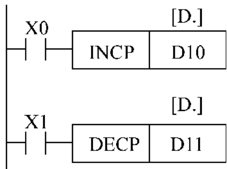


图 4-29　加 1 和减 1 指令的使用

4）在 DEC 运算时，16 位运算由 -32768 减 1 变为 +32767，标志位不能置位；32 位运算由 -2147483648 减 1 变为 +2147483647 时，标志位也不能置位。

2. 逻辑运算类指令

（1）逻辑与指令 WAND

（D）WAND（P）指令的编号为 FNC26。将指定的两个源地址中的二进制数按位进行与逻辑运算，结果送到指定的目标地址中。

（2）逻辑或指令 WOR

（D）WOR（P）指令的编号为 FNC27。它是把两个指定的源的操作数按位进行或运算，结果送指定元件。如图 4-30 所示，当 X1 有效时，（D10）∨（D12）→（D14）。

（3）逻辑异或指令 WXOR

（D）WXOR（P）指令的编号为 FNC28。它是对源的操作数位进行逻辑异或运算。

（4）求补指令 NEG

（D）NEG（P）指令的编号为 FNC29。其功能是将［D.］指定的元件内容的各位先取反再加 1，将其结果再存入原来的元件中。

WAND、WOR、WXOR 和 NEG 指令的使用如图 4-30 所示。

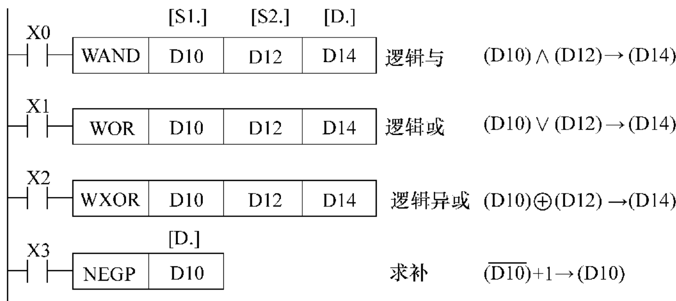


图 4-30　逻辑运算指令的使用

使用逻辑运算指令时应该注意：

1）WAND、WOR 和 WXOR 指令的［S1.］和［S2.］均可取所有的数据类型，而目标操作数可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z。

2）NEG 指令只有目标操作数，其可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z。

3）WAND、WOR、WXOR 指令 16 位操作运算时占 7 个程序步，32 位操作运算时为 13 个程序步，而 NEG 分别占 3 步和 5 步。

4.1.6　循环与移位指令

循环与移位指令（FNC30～FNC39）如表 4-8 所示。

表 4-8　循环与移位指令

功能编号	指令记号	指令名称	功能编号	指令记号	指令名称
FNC30	ROR	右循环	FNC35	SFTL	位左移
FNC31	ROL	左循环	FNC36	WSFR	字右移
FNC32	RCR	带进位右循环	FNC37	WSFL	字左移
FNC33	RCL	带进位左循环	FNC38	SFWR	移位写入
FNC34	SFTR	位右移	FNC39	SFRD	移位读出

1. 循环移位指令

右、左循环移位指令（D）ROR(P)和（D）ROL(P）编号分别为 FNC30 和 FNC31。功能是将指定的元件［D.］中的数据向右（右循环）或向左（左循环）循环移动 n 位，每次最后移出来的那一位再循环送入最高位（右循环）或最低位（左循环）的同时也存入进位标志位 M8022 中，如图 4-31a 所示，假设 D10 中的数据为 HFF00，执行这条循环右移指令的示意图如图 4-31b 所示。ROL 指令的执行类似于 ROR，只是移位方向相反。

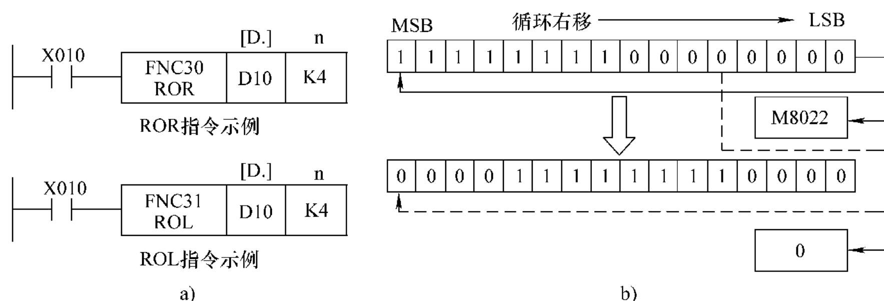


图 4-31　右、左循环移位指令的使用

a）右、左循环移位示例　b）循环右移指令执行过程示意图

2. 带进位的循环移位指令

带进位的循环右、左移位指令（D）RCR(P)和（D）RCL(P）编号分别为 FNC32 和 FNC33。指令功能是将指定元件［D.］中的数据连同进位标志位 M8022 一起（16 位指令时一共 17 位），按照指令给定的值向右循环（RCR）或向左循环（RCL）移动 n 位，在循环中移出的位进入进位标志，后者又被送回到目标操作数的另一端，如图 4-32 所示。

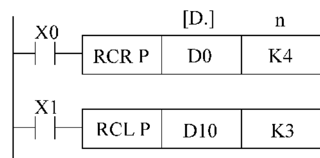


图 4-32　带进位右、左循环移位指令的使用

这两条指令的执行基本上与 ROL 和 ROR 相同，只是在执行 RCL、RCR 时，标志位 M8022 不再表示向左或向右移出的最后一位的状态，而是作为循环移位单元中的一位处理。

使用 ROR、ROL、RCR、RCL 指令时应该注意：

1）目标操作数可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z，目标元件中指定位元件的组合只有在 K4（16 位指令）和 K8（32 位指令）时有效。

2）16 位操作指令占 5 个程序步，32 位操作指令占 9 个程序步。

3）用连续指令执行时，循环移位操作每个周期执行一次。

3. 位元件右移和左移指令

位右、左移指令 SFTR（P）和 SFTL（P）的编号分别为 FNC34 和 FNC35。其功能是把 n1 个目标位元件中的数据成组地向右（SFTR）或向左（SFTL）移动 n2 位。n2 个源位元件中的数据被补充到空出的目标位元件中。

示例及使用：n1 指定为位元件的长度，n2 指定为移位的位数，n1 和 n2 的关系及范围因机型不同而有差异，一般为 n2≤n1≤1024。位右移指令的使用如图 4-33 所示。

使用位右移和位左移指令时应注意：

1）源操作数可取 X、Y、M、S，目标操作数可取 Y、M、S。

2）只有 16 位操作，占 9 个程序步。

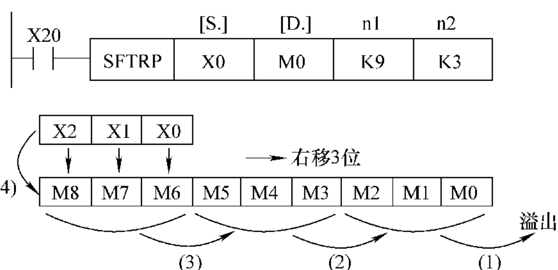


图 4-33　位右移指令的使用

4. 字右移和字左移指令

字右移和字左移指令 WSFR（P）和 WSFL（P）指令编号分别为 FNC36 和 FNC37。字右移和字左移指令以字为单位，其工作的过程与位的移位相似，是将 n1 个字右移或左移 n2 个字。

使用字右移和字左移指令时应注意：

1）源操作数可取 K_nX、K_nY、K_nM、K_nS、T、C 和 D，目标操作数可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C 和 D。

2）字移位指令只有 16 位操作，占用 9 个程序步。

3）n1 和 n2 的关系为 n2≤n1≤512。

5. 先入先出写入和读出指令

先入先出写入指令和先入先出读出指令 SFWR（P）和 SFRD（P）的编号分别为 FNC38 和 FNC39。

先入先出写入指令 SFWR 的使用如图 4-34 所示，当 X0 由 OFF 变为 ON 时，SFWR 执行，D0 中的数据写入 D2，而 D1 变成指针，其值为 1（D1 必须先清 0）；当 X0 再次由 OFF 变为 ON 时，D0 中的数据写入 D3，D1 变为 2，依次类推，D0 中的数据依次写入数据寄存器。D0 中的数据从右边的 D2 顺序存入，源的数据写入的次数放在 D1 中，当 D1 中的数达到 n－1 后不再执行上述操作，同时进位标志 M8022 置 1。

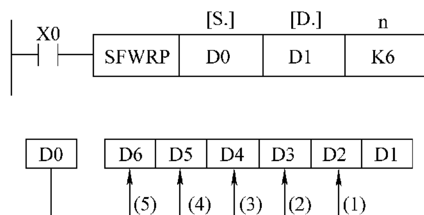


图 4-34　先入先出写入指令的使用

先入先出读出指令 SFRD 的使用如图 4-35 所示，当 X0 由 OFF 变为 ON 时，D2 中的数据送到 D20，同时指针 D1 的值减去 1，D3～D9 的数据向右移一个字，数据总是从 D2 读出，

指针 D1 为 0 时，不再执行上述操作且 M8020 置 1。

使用 SFWR 和 SFRD 指令时应注意：

1）目标操作数可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C 和 D，源的操作数可取所有的数据类型。

2）指令只有 16 位运算，占 7 个程序步。

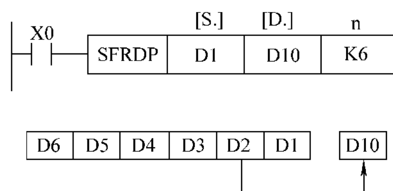


图 4-35　先入先出读出指令的使用

4.1.7　数据处理指令

数据处理指令（FNC40 ~ FNC49）如表 4-9 所示。

表 4-9　数据处理指令

功能编号	指令记号	指令名称	功能编号	指令记号	指令名称
FNC40	ZRST	区间复位	FNC45	MEAN	平均值
FNC41	DECO	译码	FNC46	ANS	报警器置位
FNC42	ENCO	编码	FNC47	ANR	报警器复位
FNC43	SUM	ON 位数统计	FNC48	SQR	二进制数据开方运算
FNC44	BON	ON 位判别	FNC49	FLT	二进制整数转换到浮点数

1. 区间复位指令

区间复位指令 ZRST（P）的编号为 FNC40。它的功能是将［D1.］和［D2.］指定的元件号范围内的同类元件成批复位。

示例及使用：如图 4-36 所示，当 M8002 由 OFF 到 ON 时，位元件 M500 ~ M599 成批复位，字元件 C235 ~ C255 也成批复位。

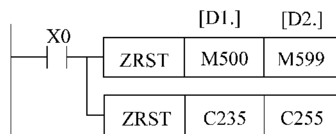


图 4-36　区间复位指令的使用

使用区间复位指令时应注意：

1）［D1.］和［D2.］可取 Y、M、S、T、C、D，且应为同类元件，同时［D1.］的元件号应小于［D2.］指定的元件号，若［D1.］的元件号大于［D2.］的元件号，则只有［D1.］指定元件被复位。

2）ZRST 指令只有 16 位处理，占 5 个程序步，但［D1.］［D2.］也可以指定 32 位计数器。

2. 译码和编码指令

（1）译码指令 DECO

DECO（P）指令的编号为 FNC41。功能是根据 n 位输入的状态对 2^n 个输出进行译码。它是将目标元件的某一位置 1，其他位置 0，置 1 位的位置由操作数的十进制码决定。解码指令的操作规则与数字电路中的状态译码器（如 3/8 译码器等）相同。

示例及使用：如图 4-37 所示，$n=3$ 则表示［S.］源操作数为 3 位，即 X0、X1、X2。其状态为二进制数，当值为 011 时相当于十进制 3，则由目标操作数 M7 ~ M0 组成的 8 位二进制数的第三位 M3 被置 1，其余各位为 0。如果为 000，则 M0 被置 1。用译码指令可通过［D.］中的数值来控制元件的 ON/OFF。

使用译码指令时应注意：

1）位的源操作数可取 X、T、M 和 S，位的目标操作数可取 Y、M 和 S，字的源操作数可取 K、H、T、C、D、V 和 Z，字的目标操作数可取 T、C 和 D。

2）若［D.］指定的目标元件是字元件 T、C、D，则 $n \leq 4$；若是位元件 Y、M、S，则 $n = 1 \sim 8$。译码指令为 16 位指令，占 7 个程序步。

（2）编码指令 ENCO

ENCO（P）指令的编号为 FNC42。其功能是根据 2^n 个输入位的状态进行编码，将结果存放到目标元件中。它是将源操作数为 1 的最高位位置存放到目标寄存器 D 中，只有 16 位运算。若指定的源元件中为 1 的位不止一个，则只有最高位的 1 有效。

示例及使用：如图 4-38 所示，当 X1 有效时执行编码指令，将［S.］中最高位的 1（M3）所在位数（4）放入目标元件 D10 中，即把 011 放入 D10 的低 3 位。

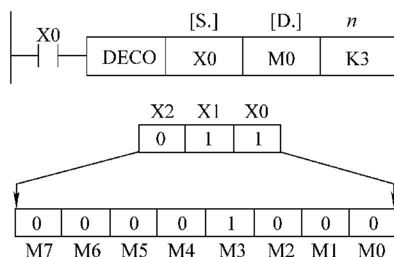


图 4-37　译码指令的使用

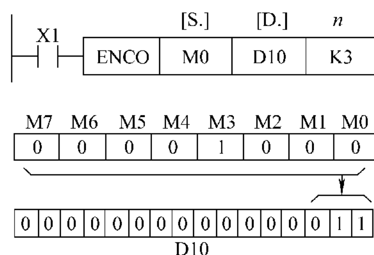


图 4-38　编码指令的使用

使用编码指令时应注意：

1）指令的源操作数和目标操作数可以是位元件，也可以是字元件。

2）源的操作数是字元件时，可以是 T、C、D、V 和 Z；源的操作数是位元件时，可以是 X、Y、M 和 S。目标元件可取 T、C、D、V 和 Z。编码指令为 16 位指令，占 7 个程序步。

3）操作数为字元件时应使 $n \leq 4$，为位元件时则 $n = 1 \sim 8$，$n = 0$ 时不做处理。

4）若指定源操作数中有多个 1，则只有最高位的 1 有效。

3. ON 位数统计和 ON 位判别指令

（1）ON 位数统计指令 SUM

（D）SUM（P）指令的编号为 FNC43。该指令是用来统计指定元件中 1 的个数。

示例及使用：如图 4-39 所示，当 X0 有效时执行 SUM 指令，将源操作数 D0 中 1 的个数送入目标操作数 D2 中，若 D0 中没有 1，零的标志 M8020 将置 1。

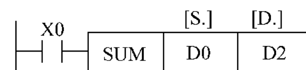


图 4-39　ON 位数统计指令的使用

使用 SUM 指令时应注意：

1）源的操作数可取所有数据类型，目标操作数可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z。

2）16 位运算时占 5 个程序步，32 位运算时则占 9 个程序步。

（2）ON 位判别指令

BON（D）、BON（P）指令的编号为 FNC44。它的功能是检测指定元件中指定位是否为 1。如图 4-40 所示，当 X1 为有效时，执行 BON 指令，由 K4 决定检测的是源操作数 D10 的第 4 位，当检测结果为 1 时，则目

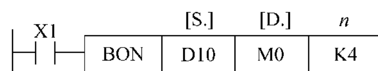


图 4-40　ON 位判别指令的使用

标操作数 M0 = 1，否则 M0 = 0。

使用 BON 指令时应注意：

1）源操作数可取所有数据类型，目标操作数可取 Y、M 和 S。

2）进行 16 位运算，占 7 程序步，$n = 0 \sim 15$；32 位运算时则占 13 个程序步，$n = 0 \sim 31$。

4. 平均值指令

平均值指令（D）MEAN（P）的编号为 FNC45，它主要用来计算 n 个源操作数的平均值，结果送到目标元件中（余数省略）。其中，源操作数可以取 K_nX、K_nY、K_nM、K_nS、T、C 和 D，目标操作数可以取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z，n 可以取 1 ~ 64。若程序中指定的 n 值超出 1 ~ 64 的范围将会出错。

5. 报警器置位与复位指令

报警器置位指令 ANS（P）和报警器复位指令 ANR（P）的编号分别为 FNC46 和 FNC47。如图 4-41 所示，若 X0 和 X1 同时为 ON 时超过 1s，则 S900 置 1；当 X0 或 X1 变为 OFF，虽定时器复位，但 S900 仍保持 1 不变；若在 1s 内 X0 或 X1 再次变为 OFF，则定时器复位。当 X2 接通时，则将 S900 ~ S999 之间被置 1 的报警器复位。若有多于 1 个的报警器被置 1，则元件号最低的那个报警器被复位。

使用报警器置位与复位指令时应注意：

1）ANS 指令的源操作数为 T0 ~ T199，目标操作数为 S900 ~ S999，$n = 1 \sim 32767$（以 100ms 为单位）；ANR 指令无操作数。

2）ANS 为 16 位运算指令，占 7 个程序步；ANR 指令为 16 位运算指令，占 1 个程序步。

3）ANR 指令如果用连续执行，则会按扫描周期依次逐个将报警器复位。

6. 二进制平方根指令

二进制平方根指令（D）SQR（P）的编号为 FNC48。如图 4-42 所示，当 X0 有效时，则将存放在 D45 中的数开平方，结果存放在 D123 中（结果只取整数）。

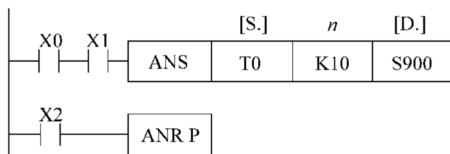


图 4-41　报警器置位与复位指令的使用

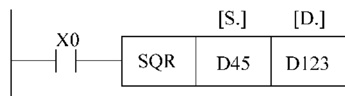


图 4-42　二进制平方根指令的使用

使用 SQR 指令时应注意：

1）源操作数可取 K、H、D，数据需大于 0，目标操作数为 D。

2）16 位运算时占 5 个程序步，32 位运算时占 9 个程序步。

7. 二进制整数→二进制浮点数转换指令

二进制整数→二进制浮点数转换指令（D）FLT（P）的编号为 FNC49。如图 4-43 所示，当 X1 有效时，将存入 D10 中的数据转换成浮点数并存入 D12 中。

使用 FLT 指令时应注意：

1）源和目标操作数均为 D。

2）16 位操作时占 5 个程序步，32 位操作时占 9 个程序步。

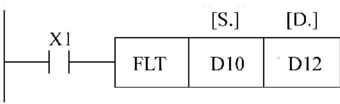


图 4-43　二进制整数→二进制浮点数转换指令的使用

4.1.8　高速处理指令

高速处理指令（FNC50 ~ FNC59）如表 4-10 所示。

表 4-10　高速处理指令

功能编号	指令记号	指令名称	功能编号	指令记号	指令名称
FNC50	REF	输入/输出刷新	FNC55	HSZ	区间比较（高速计数器）
FNC51	REFF	滤波调整	FNC56	SPD	速度检测
FNC52	MTR	矩阵输入	FNC57	PLSY	脉冲输出
FNC53	HSCS	比较置位（高速计数器）	FNC58	PWM	脉宽调制
FNC54	HSCR	比较复位（高速计数器）	FNC59	PLSH	可调速脉冲输出

1. 和输入/输出有关的指令

（1）输入/输出刷新指令 REF

REF（P）指令的编号为 FNC50。FX 系列 PLC 采用集中输入/输出的方式。如果需要最新的输入信息以及希望立即输出结果则必须使用该指令。

示例及使用：如图 4-44 所示，当 X0 接通时，X10 ~ X17 共 8 点输入将被刷新；当 X1 接通时，则 Y0 ~ Y7、Y10 ~ Y17 共 16 点输出将被刷新。

使用 REF 指令时应注意：

1）目标操作数为元件编号个位为 0 的 X 和 Y，n 应为 8 的整倍数。

2）指令只进行 16 位运算，占 5 个程序步。

（2）滤波调整指令 REFF

REFF（P）指令的编号为 FNC51。在 FX 系列 PLC 中 X0 ~ X17 使用了数字滤波器，用 REFF 指令可调节其滤波时间，范围为 0 ~ 60ms（实际上由于输入端有 RL 滤波，所以最小滤波时间为 50μs）。如图 4-45 所示，当 X0 接通时，执行 REFF 指令，滤波时间常数被设定为 1ms。

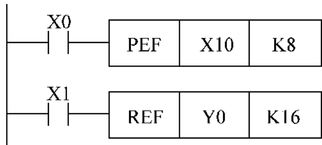


图 4-44　输入/输出刷新指令的使用

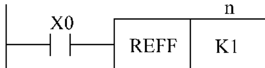


图 4-45　滤波调整指令说明

使用 REFF 指令时应注意：

1）REFF 为 16 位运算指令，占 7 个程序步。

2）当 X0 ~ X7 用作高速计数输入时或使用 FNC56 速度检测指令以及中断输入时，输入滤波器的滤波时间自动设置为 50ms。

（3）矩阵输入指令 MTR

MTR 指令的编号为 FNC52。利用 MTR 可以构成连续排列的 8 点输入与 n 点输出组成的 8 列 n 行的输入矩阵。如图 4-46 所示，由［S］指定的输入 X0 ~ X7 共 8 点与 n 点输出 Y0、Y1、Y2（$n=3$）组成一个输入矩阵。PLC 在执行 MTR 指令时，当 Y0 为 ON 时，读入的第一行的输入数据存入 M30 ~ M37 中；Y1 为 ON 时读入的第二行的输入状态存入 M40 ~ M47。其余类推，反复执行。

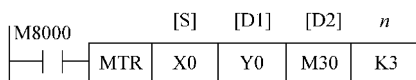


图 4-46　矩阵输入指令的使用

使用 MTR 指令时应注意：

1）源操作数［S］是元件编号个位为 0 的 X，目标操作数［D1］是元件编号个位为 0 的 Y，目标操作数［D2］是元件编号个位为 0 的 Y、M 和 S，n 的取值范围是 2 ~ 8。

2）考虑到输入滤波应答延迟为 10ms，对于每一个输出按 20ms 顺序中断，立即执行。

3）利用本指令通过 8 点晶体管输出获得 64 点输入，但读一次 64 点输入所需时间为 20ms × 8 = 160ms，不适应高速输入操作。

4）该指令只有 16 位运算，占 9 个程序步。

2. 高速计数器指令

（1）高速计数器置位指令 HSCS

（D）HSCS 指令的编号为 FNC53。它应用于高速计数器的置位，在计数器的当前值达到预置的值时，使计数器的输出触点立即动作。它采用了中断方式使置位和输出立即执行而与扫描周期无关。

示例及使用：如图 4-47 所示，［S1.］为设定值（100），当高速计数器 C255 的当前值由 99 变 100 或由 101 变为 100 时，Y0 都将立即置 1。

（2）高速计速器比较复位指令 HSCR

（D）HSCR 指令的编号为 FNC54。如图 4-47 所示，C254 的当前值由 199 变为 200 或由 201 变为 200 时，则用中断的方式使 Y10 立即复位。

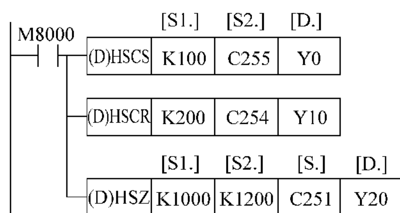


图 4-47　高速计数器指令的使用

使用 HSCS 和 HSCR 时应注意：

1）源操作数［S1.］可取所有数据类型，［S2.］为 C235 ~ C255，目标操作数可取 Y、M 和 S。

2）只有 32 位运算，占 13 个程序步。

（3）高速计速器区间比较指令 HSZ

（D）HSZ 指令的编号为 FNC55。如图 4-47 所示，目标操作数为 Y20、Y21 和 Y22。如果 C251 的当前值小于 K1000，Y20 为 ON；K1000≤C251 的当前值≤K1200 时，Y21 为 ON；C251 的当前值大于 K1200 时，Y22 为 ON。

使用高速计速器区间比较指令时应注意：

1）操作数［S1.］、［S2.］可取所有数据类型，［S.］为 C235 ~ C255，目标操作数［D.］可取 Y、M、S。

2）指令为 32 位操作，占 17 个程序步。

3. 速度检测指令

速度检测指令 SPD 的编号为 FNC56。它的功能是检测给定时间内从编码器输入的脉冲个数，并计算出速度。

示例及使用：如图 4-48 所示，［D.］占三个目标元件。当 X12 为 ON 时，用 D1 对 X0 的输入上升沿计数，100ms 后计数结果送入 D0，D1 复位，D1 重新开始对 X0 计数。D2 在计数结束后计算剩余时间。

使用速度检测指令时应注意：

1）［S1.］为 X0 ~ X5，［S2.］可取所有的数据类型，［D.］可以是 T、C、D、V 和 Z。

2）指令只有 16 位操作，占 7 个程序步。

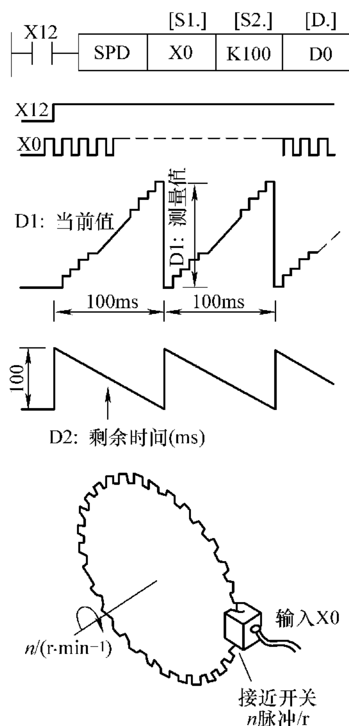


图 4-48　速度检测指令的使用

4. 脉冲输出指令

脉冲输出指令（D）PLSY 的编号为 FNC57。其功能是产生指定数量的脉冲。

示例及使用：如图 4-49 所示，其中［S1.］用来指定脉冲频率（2 ~ 20000Hz），［S2.］指定脉冲的个数（16 位指令的范围为 1 ~ 32767，32 位指令则为 1 ~ 2147483647）。如果指定脉冲数为 0，则持续产生脉冲。［D.］指定脉冲输出元件号（Y0 或 Y1）。脉冲以中断方式输出，占空比为 50%。指定脉冲输出完成后，指令执行完成标志 M8029 置 1。X10 由 ON 变为 OFF 时，M8029 复位，停止输出脉冲。若 X10 再次变为 ON，则脉冲从头开始输出。

使用脉冲输出指令时应注意：

1）［S1.］、［S2.］可取所有的数据类型，［D.］为 Y1 和 Y2。

2）该指令可进行 16 位和 32 位操作，分别占用 7 个和 13 个程序步。

3）本指令在程序中只能使用一次。

5. 脉宽调制指令

脉宽调制指令 PWM 的编号为 FNC58。它的功能是产生指定脉冲宽度和周期的脉冲串。

示例及使用：如图 4-50 所示，［S1.］用来指定脉冲的宽度，［S2.］用来指定脉冲的周期，［D.］用来指定输出脉冲的元件号（Y0 或 Y1），输出的 ON/OFF 状态由中断方式控制。

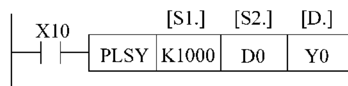


图 4-49　脉冲输出指令的使用

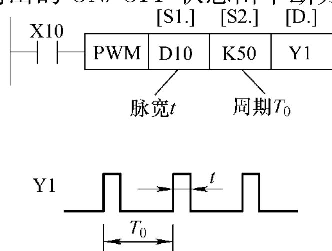


图 4-50　脉宽调制指令的使用

使用脉宽调制指令时应注意：

1）操作数的类型与 PLSY 相同。该指令只有 16 位操作，需 7 个程序步。

2）［S1.］应小于［S2.］。

6. 可调速脉冲输出指令

可调速脉冲输出指令（D）PLSR 的编号为 FNC59，示例及使用如图 4-51 所示。该指令可以对输出脉冲进行加速，也可进行减速调整，是用于加速减速功能定尺寸用的脉冲输出指令。针对指定的最高频率，进行定加速，在达到所指定的脉冲输出数后，进行定减速。源操作数和目标操作数的类型和 PLSY 指令相同，只能用于晶体管 PLC 的 Y0 和 Y1，可进行 16 位操作也可进行 32 位操作，分别占 9 个和 17 个程序步。该指令只能用一次。

使用循环指令时注意点：

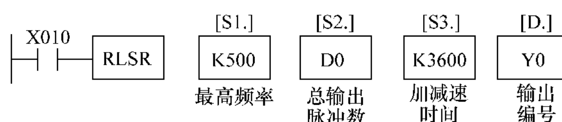


图 4-51　可调速脉冲输出指令的使用

4.1.9　方便指令

FX 系列共有 10 条方便指令：初始化指令、数据搜索指令、绝对值式凸轮顺控指令、增量式凸轮顺控指令、示教定时指令、特殊定时器指令、交替输出指令、斜坡信号指令、旋转工作台控制指令和数据排序指令。方便指令（FNC60 ~ FNC69）如表 4-11 所示。

表 4-11　方便指令

功能编号	指令记号	指令名称	功能编号	指令记号	指令名称
FNC60	IST	初始化	FNC65	STMR	特殊定时器
FNC61	SER	数据搜索	FNC66	ALT	交替输出
FNC62	ABSD	凸轮顺控（绝对值式）	FNC67	RAMP	斜坡信号
FNC63	INCD	凸轮顺控（增量式）	FNC68	ROTC	旋转工作台控制
FNC64	TTMR	示教定时	FNC69	SORT	数据排序

以下仅对其中部分指令加以介绍。

1. 凸轮顺控指令

凸轮顺控指令有绝对值式凸轮顺控指令 ABSD（FNC62）和增量式凸轮顺控指令 INCD（FNC63）两条。

绝对值式凸轮顺控指令 ABSD 用来产生一组对应于计数值在 360°范围内变化的输出波形，输出点的个数由 n 决定。

示例及使用：如图 4-52a 所示。图中 n 为 4，表明［D.］由 M0 ~ M3 共 4 点输出。预先通过 MOV 指令将对应的数据写入 D300 ~ D307 中，接通点数据（由 OFF 变 ON）写入偶数元件，关断点数据放入奇数元件，如表 4-12 所示。当执行条件 X0 由 OFF 变 ON 时，M0 ~ M3 将得到图 4-52b 所示的波形，通过改变 D300 ~ D307 的数据可改变波形。若 X0 为 OFF，则各输出点状态不变。这一指令只能使用一次。

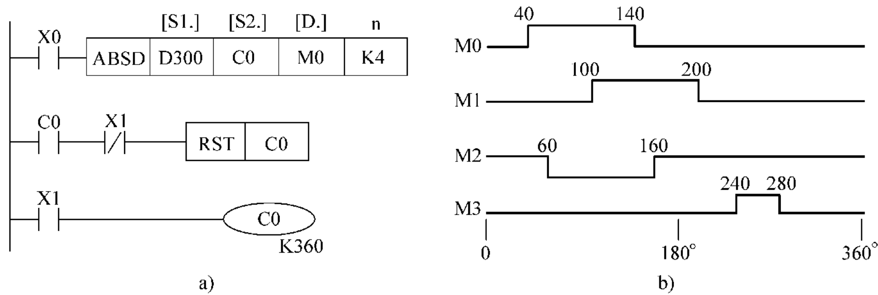


图 4-52　绝对值式凸轮顺控指令的使用

a）绝对值式凸轮顺控指令　b）输出波形

表 4-12　旋转台旋转周期 M0 ~ M3 状态

开通点	关断点	输出
D300 = 40	D301 = 140	M0
D302 = 100	D303 = 200	M1
D304 = 160	D305 = 60	M2
D306 = 240	D307 = 280	M3

增量式凸轮顺控指令 INCD 也是用来产生一组对应于计数值变化的输出波形。如图 4-53 所示，$n=4$，说明有 4 个输出，分别为 M0 ~ M3，它们的 ON/OFF 状态受凸轮提供的脉冲个数控制。使 M0 ~ M3 为 ON 状态的脉冲个数分别存放在 D300 ~ D303 中（用 MOV 指令写入）。图中波形是 D300 ~ D303 分别为 20、30、10 和 40 时的输出。当计数器 C0 的当前值依次达到 D300 ~ D303 的设定值时将自动复位。C1 用来计复位的次数，M0 ~ M3 根据 C1 的值依次动作。由 n 指定的最后一段完成后，标志 M8029 置 1，以后周期性重复。若 X0 为 OFF，则 C0、C1 均复位，同时 M0 ~ M3 变为 OFF，当 X0 再接通后重新开始工作。

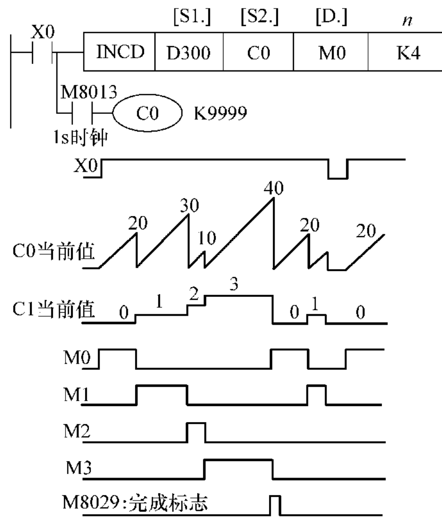


图 4-53　增量式凸轮顺控指令的使用

凸轮顺控指令源操作数［S1.］可取 K_nX、K_nY、K_nM、K_nS、T、C 和 D，［S2.］为 C，目标操作数可取 Y、M 和 S。为 16 位操作指令，占 9 个程序步。

2. 定时器指令

定时器指令有示教定时器指令 TTMR（FNC64）和特殊定时器指令 STMR（FNC65）两条。

使用示教定时器指令 TTMR，可用一个按钮来调整定时器的设定时间。如图 4-54 所示，当 X10 为 ON 时，执行 TTMR 指令，X10 按下的时间由 M301 记录，该时间乘以 $10n$ 后存入

D300。如果按钮按下时间为 t 存入 D300 的值为 $10n \times t$。X10 为 OFF 时，D301 复位，D300 保持不变。TTMR 为 16 位指令，占 5 个程序步。

特殊定时器指令 STMR 用来产生延时断开定时器、单脉冲定时器和闪动定时器。如图 4-55 所示，$m = 1 \sim 32767$，用来指定定时器的设定值；［S.］源操作数取 T0 ~ T199（100ms 定时器）。T10 的设定值为 100ms × 100 = 10s，M0 是延时断开定时器，M1 为单脉冲定时器，M2、M3 为闪动而设。

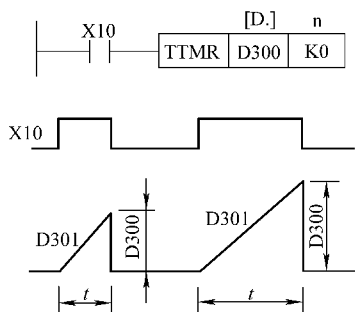


图 4-54　示教定时器指令的使用

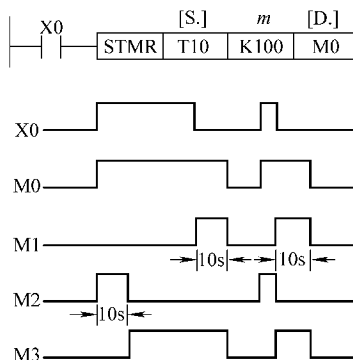


图 4-55　特殊定时器指令的使用

3. 交替输出指令

交替输出指令 ALT（P）的编号为 FNC66，用于实现由一个按钮控制负载的起动和停止。如图 4-56 所示，当 X0 由 OFF 到 ON 时，Y0 的状态将改变一次。若用连续的 ALT 指令，则每个扫描周期 Y0 均改变一次状态。［D.］可取 Y、M 和 S。ALT 为 16 位运算指令，占 3 个程序步。

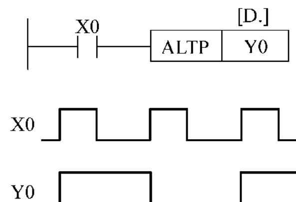


图 4-56　交替输出指令的使用

4.1.10　外部 I/O 设备指令

外部 I/O 设备指令如表 4-13 所示。

表 4-13　外部 I/O 设备指令

功能编号	指令记号	指令名称	功能编号	指令记号	指令名称
FNC70	TKY	10 键输入	FNC75	ARWS	方向开关
FNC71	HKY	16 键输入	FNC76	ASC	ASCII 转换
FNC72	DSW	数字开关输入	FNC77	PR	ASCII 打印
FNC73	SEGD	七段译码	FNC78	FROM	特殊功能模块读
FNC74	SEGL	带锁存的七段显示	FNC79	TO	特殊功能模块写

外部 I/O 设备指令（FNC70 ~ FNC79）是 FX 系列与外设传递信息的指令，共有 10 条。

1. 数据输入指令

数据输入指令有 10 键输入指令 TKY（FNC70）、16 键输入指令 HKY（FNC71）和数字开关输入指令 DSW（FNC72）。

（1）10 键输入指令

10 键输入指令（D）TKY 是用于十字键输入数值的指令。

示例及使用：如图 4-57 所示，源操作数［S.］用 X0 为首元件，10 个键 X0 ~ X9 分别为对应数字 0 ~ 9。X30 接通时执行 TKY 指令，如果以 X2（2）、X9（8）、X3（3）、X0（0）的顺序按键，则［D1.］中存入数据为 2830，实现了将按键变成十进制的数字量。当送入的数大于 9999，则高位溢出并丢失。使用 32 位指令 DTKY 时，D1 和 D2 组合使用，高位大于 99999999，则高位溢出。

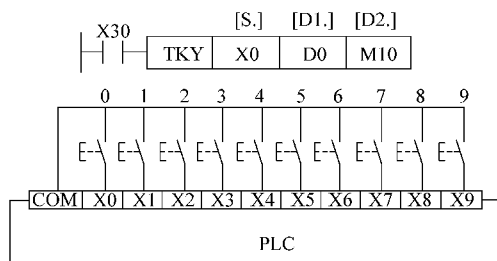


图 4-57　10 键输入指令的使用

当按下 X2 后，M12 置 1 并保持至另一键被按下，其他键也一样。M10 ~ M19 动作对应于 X0 ~ X9。任一键按下，键信号置 1 直到该键放开。当两个或更多的键被按下时，则首先按下的键有效。X30 变为 OFF 时，D0 中的数据保持不变，但 M10 ~ M20 全部为 OFF。此指令的源操作数可取 X、Y、M 和 S，目标操作数［D1.］可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z，［D2.］可取 Y、M、S。16 位运算时占 7 个程序步，32 位运算时占 13 个程序步。该指令在程序中只能使用一次。

（2）16 键输入指令

16 键输入指令（D）HKY 的作用是通过对键盘上的数字键和功能键输入的内容实现输入的复合运算。

示例及使用：如图 4-58 所示，［S.］指定 4 个输入元件，［D1.］指定 4 个扫描输出点，［D2.］是键输入存储元件，［D3.］指示读出元件。16 键中 0 ~ 9 为数字键，A ~ F 为功能键，HKY 指令输入的数字范围为 0 ~ 9999，以二进制的方式存放在 D0 中，如果大于 9999 则溢出。DHKY 指令可在 D0 和 D1 中存放最大为 99999999 的数据。功能键 A ~ F 与 M0 ~ M5 对应，按下 A 键，M0 置 1 并保持。按下 D 键 M0 置 0，M3 置 1 并保持。其余类推。如果同时按下多个键，则先按下的有效。

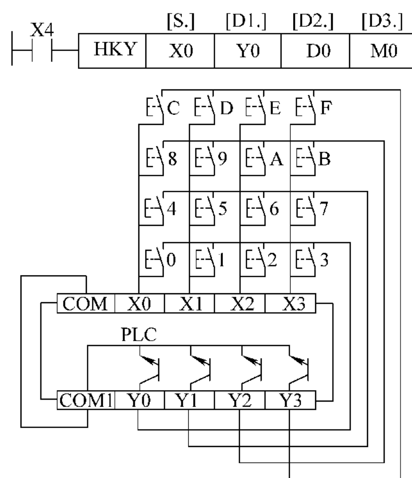


图 4-58　16 键输入指令的使用

该指令源操作数为 X，目标操作数［D1.］为 Y，［D2］可以取 T、C、D、V 和 Z，［D3.］可取 Y、M 和 S。16 位运算时占 9 个程序步，32 位运算时占 17 个程序步。扫描全部 16 个键，需要 8 个扫描周期。HKY 指令在程序中只能使用一次。

（3）数字开关输入指令

数字开关输入指令 DSW 的功能是读入 1 组或 2 组 4 位数字开关的设置值。

示例及使用：如图 4-59 所示，源操作数［S.］为 X，用来指定输入点。［D1.］为目标操作数 Y，用来指定选通点。［D2.］指定数据存储单元，它可取 T、C、D、V 和 Z。n 指定数字开关组数。该指令只有 16 位运算，占 9 个程序步，可使用两次。图中，$n=1$ 指有 1 组

BCD 码数字开关。输入开关为 X10 ~ X13，按 Y10 ~ Y13 的顺序选通读入。数据以二进制数的形式存放在 D0 中。若 $n=2$，则有 2 组开关，第 2 组开关接到 X14 ~ X17 上，仍由 Y10 ~ Y13 顺序选通读入，数据以二进制的形式存放在 D1 中，第 2 组数据只有在 $n=2$ 时才有效。当 X1 保持为 ON 时，Y10 ~ Y13 依次为 ON。一个周期完成后的标志位 M8029 置 1。

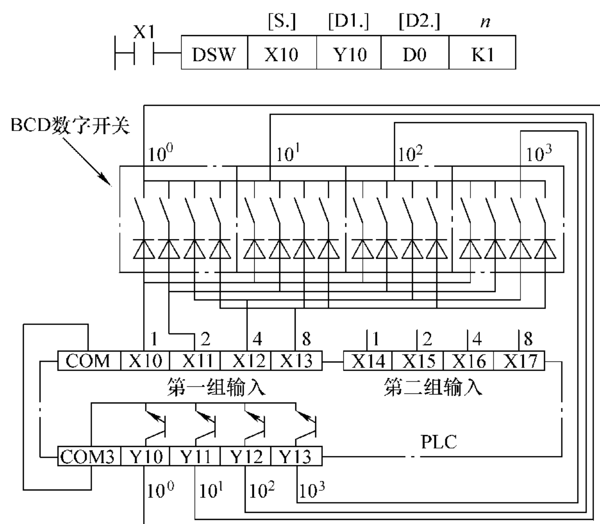


图 4-59　数字开关输入指令的使用

2. 数字译码输出指令

数字译码输出指令有七段译码指令 SEGD（FNC73）和带锁存的七段显示指令 SEGL（FNC74）两条。七段译码指令 SEGD 用于控制一位七段数码管。SEGD 的操作功能是将源操作数的低 4 位二进制数（1 为十六进制数）译码后送目标操作数。

示例及使用：七段译码指令 SEGD（P）如图 4-60 所示，将［S.］指定元件的低 4 位所确定的十六进制数（0 ~ F）经译码后存于［D.］指定的元件中，以驱动七段显示器，［D.］的高 8 位保持不变。如果要显示 0，则应在 D0 中放入数据 3FH。

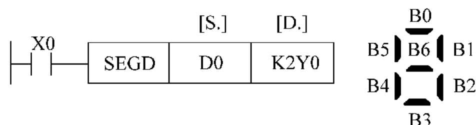


图 4-60　七段译码指令的使用

带锁存的 7 段显示指令 SEGL 的作用是用 12 个扫描周期的时间来控制一组或两组带锁存的七段译码显示。

3. 方向开关指令

方向开关指令 ARWS（FNC75）用于方向开关的输入和显示。

示例及使用：如图 4-61 所示，该指令有四个参数，源操作数［S.］可选 X、Y、M、S。图中选择 X10 开始的 4 个按钮，位左移键和右移键用来指定输入的位，增加键和减少键用来设定指定位数的数值。X0 接通时指定的是最高位，按一次右移键或左移键可移动一位。指定位的数据可由增加键和减少键来修改，其值可显示在 7 段显示器上。目标操作数［D1.］为输入的数据，由 7 段显示器监视其中的值（操作数可用 T、C、D、V 和 Z），［D2.］只能用 Y 做操作数，$n=0\sim3$，其确定的方法与 SEGL 指令相同。ARWS 指令只能使

用一次，而且必须用晶体管输出型的 PLC。

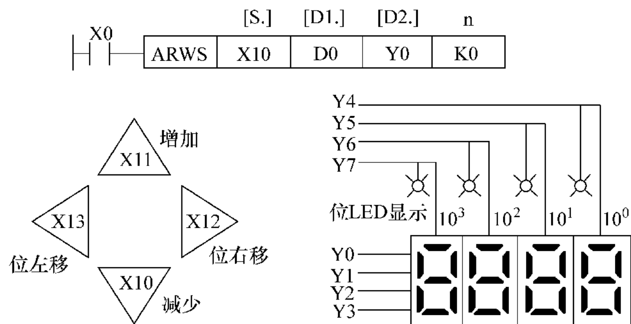


图 4-61　方向开关指令的使用

4. ASCII 码转换指令

ASCII 码转换指令 ASC（FNC76）的功能是将字符变换成 ASCII，并存放在指定的元件中。

示例及使用：如图 4-62 所示，当 X3 有效时，则将 FX2A 变成 ASCII 并送入 D300 和 D301 中。源操作数是 8 个字节以下的字母或数字，目标操作数为 T、C、D。它只有 16 位运算，占 11 个程序步。

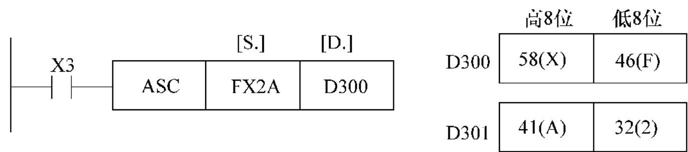


图 4-62　ASCII 码转换指令的使用

4.1.11　浮点数运算、时钟运算和 FX 外部设备指令

1. 浮点数运算指令

浮点数运算指令包括浮点数的比较、四则运算、开方运算和三角函数等功能，它们分布在指令编号为 FNC110 ~ FNC119、FNC120 ~ FNC129、FNC130 ~ FNC139 等指令之中。

（1）浮点数比较指令

浮点数比较指令如表 4-14 所示。

表 4-14　浮点数比较指令

功能编号	指令记号	指 令 名 称
FNC110	ECMP	二进制浮点数
FNC111	EZCP	二进制浮点数区间比较
FNC118	EBCD	二进制浮点数转换成十进制浮点数
FNC119	EBIN	十进制浮点数转换成二进制浮点数

1）二进制浮点数比较指令 ECMP（FNC110）。二进制浮点数比较指令 ECMP 用于比较两个二进制的浮点数。该指令源操作数可取 K、H 和 D，目标操作数可用 Y、M 和 S。为 32 位运算指令，占 13 个程序步。

示例及使用：如图 4-63 所示，将两源操作数进行比较，比较结果反映在目标操作数中，如果操作数为常数，则自动转换成二进制浮点数值处理。

2）二进制浮点数区间比较指令 EZCP（FNC111）。EZCP（P）指令的功能是将源操作数的内容与用二进制浮点数值指定的上下两点的范围比较，对应的结果用 ON/OFF 反映在目标操作数上。

示例及使用：如图 4-64 所示。该指令为 32 位运算指令，占 17 个程序步。源操作数可以是 K、H 和 D；目标操作数为 Y、M 和 S。[S1.] 应小于 [S2.]，操作数为常数时将被自动转换成二进制浮点数值处理。

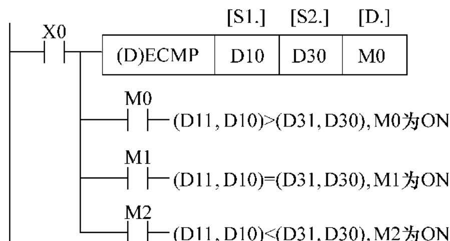


图 4-63　二进制浮点数比较指令的使用

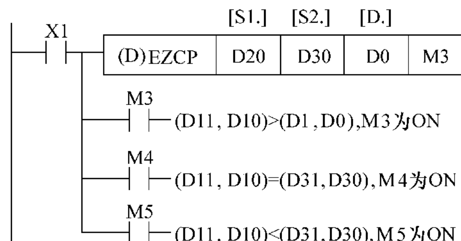


图 4-64　二进制浮点数区间比较指令的使用

（2）二进制浮点数的四则运算指令

二进制浮点数的四则运算指令如表 4-15 所示。

表 4-15　二进制浮点数的四则运算指令

功能编号	指令记号	指令名称	功能编号	指令记号	指令名称
FNC120	EADD	二进制浮点数加法	FNC129	INT	二进制浮点数转 BIN 整数
FNC121	ESUB	二进制浮点数减法	FNC130	SIN	浮点 sin 运算
FNC122	EMUL	二进制浮点数乘法	FNC131	COS	浮点 cos
FNC123	EDIV	二进制浮点数除法	FNC132	TAN	浮点 tan
FNC127	ESOR	二进制浮点数开方	FNC147	SWAP	上下字节变换

浮点数的四则运算指令有加法指令 EADD（FNC120）、减法指令 ESUB（FNC121）、乘法指令 EMUL（FNC122）和除法指令 EDIV（FNC123）四条指令。四则运算指令的使用如图 4-65 所示，它们都是将两源操作数中的浮点数进行运算后送入目标操作数。当除数为 0

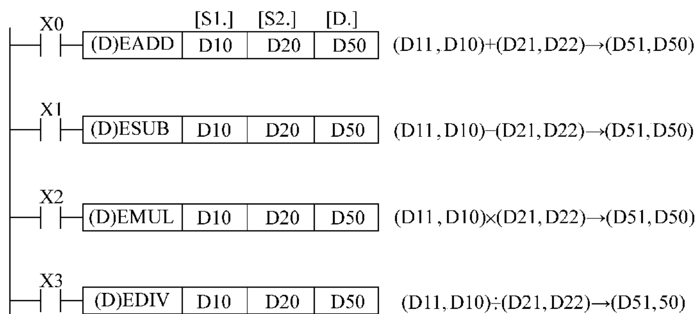


图 4-65　二进制浮点数四则运算指令的使用

时出现运算错误，不执行指令。此类指令只有 32 位运算，占 13 个程序步。运算结果影响标志位 M8020（零标志）、M8021（借位标志）、M8022（进位标志）。源操作数可取 K、H 和 D，目标操作数为 D。如有常数参与运算，则自动转化为浮点数。

二进制的浮点运算还有开平方、三角函数运算等指令，在此不再说明。

2. 时钟运算指令

共有 7 条时钟运算类指令，指令的编号分布在 FNC160 ~ FNC169 之间。时钟运算指令是对时钟数据进行运算和比较，对 PLC 内置实时时钟进行时间校准和时钟数据格式化操作。时钟运算指令如表 4-16 所示。

表 4-16　时钟运算指令

功能编号	指令记号	指令名称	功能编号	指令记号	指令名称
FNC160	TCMP	时钟数据比较	FNC166	TRD	时钟数据读取
FNC161	TZCP	时钟数据区域比较	FNC167	TWR	时钟数据写入
FNC162	TADD	时钟数据加法运算	FNC169	HOUR	计时表
FNC163	TSUB	时钟数据减法运算			

（1）时钟数据比较指令 TCMP（FNC160）

TCMP（P）的功能是比较指定时刻与时钟数据的大小。

示例及使用：如图 4-66 所示，将源操作数 [S1.]、[S2.]、[S3.] 中的时间与 [S.] 起始的 3 点时间数据比较，根据它们的比较结果决定目标操作数 [D.] 中起始的 3 点单元中取 ON 或 OFF 的状态。该指令只有 16 位运算，占 11 个程序步。它的源操作数可取 T、C 和 D，目标操作数可以是 Y、M 和 S。

（2）时钟数据加法运算指令 TADD（FNC162）

TADD（P）指令的功能是将两源操作数的内容相加结果送入目标操作数。源操作数和目标操作数均可取 T、C 和 D。TADD 为 16 位运算，占 7 个程序步。

示例及使用：如图 4-67 所示，将 [S1.] 指定的 D10 ~ D12 和 D20 ~ D22 中所放的时、分、秒相加，把结果送入 [D.] 指定的 D30 ~ D32 中。当运算结果超过 24h 时，进位标志位变为 ON，将进行加法运算的结果减去 24 小时后作为结果进行保存。

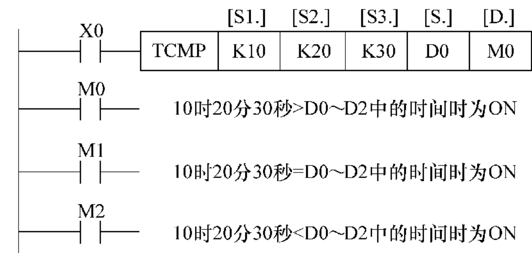


图 4-66　时钟数据比较指令的使用

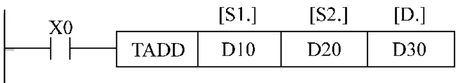


图 4-67　时钟数据加法运算指令的使用

（3）时钟数据读取指令 TRD（FNC166）

TRD（P）指令为 16 位运算，占 7 个程序步。[D.] 可取 T、C 和 D。它的功能是读出内置的实时时钟的数据放入由 [D.] 开始的 7 个字内。

示例及使用：如图 4-68 所示，当 X1 为 ON 时，将实时时钟（它们以年、月、日、时、

分、秒、星期的顺序存放在特殊辅助寄存器 D8013～8019 中）传送到 D10～D16 中。

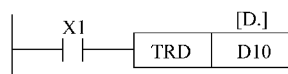


图 4-68　时钟数据读取指令的使用

3. 外部设备（SER）指令

外部设备（SER）有 8 条指令（FNC80～FNC89），外部设备指令如表 4-17 所示。

表 4-17　外部设备指令

功能编号	指令记号	指令名称	功能编号	指令记号	指令名称
FNC80	RS	串行数据传送	FNC84	CCD	校验码
FNC81	PRUN	八进制数据传送	FNC85	VRRD	模拟量输入
FNC82	ASCI	HEX→ASCII 转换	FNC86	VRSC	模拟量开关设定
FNC83	HEX	ASCII→HEX 转换	FNC88	PID	PID 运算

（1）八进制数据传送指令

八进制数据传送指令（D）PRUN（P）（FNC81）是用于八进制数的传送。

示例及使用：如图 4-69 所示，当 X10 为 ON 时，将 X0～X17 内容送至 M0～M7 和 M10～M17（因为 X 为八进制，故 M9 和 M8 的内容不变）。当 X11 为 ON 时，则将 M0～M7 送 Y0～Y7，M10～M17 送 Y10～Y17。源操作数可取 K_nX、K_nM，目标操作数取 K_nY、K_nM，$n=1\sim8$，16 位和 32 位运算分别占 5 个和 9 个程序步。

（2）十六进制数与 ASCII 转换指令

有 HEX→ASCII 转换指令 ASCI（FNC82）、ASCII→HEX 转换指令 HEX（FNC83）两条指令。

HEX→ASCII 转换指令 ASCI（P）的功能是将源操作数［S.］中的内容（十六进制数）转换成 ASCII 码，放入目标操作数［D.］中。

示例及使用：如图 4-70 所示，n 表示要转换的字符数（n＝1～256）。M8161 控制采用 16 位模式还是 8 位模式。16 位模式时每 4 个 HEX 占用 1 个数据寄存器，转换后每两个 ASCII 码占用一个数据寄存器；8 位模式时，转换结果传送到［D.］低 8 位，其高 8 位为 0。PLC 运行时 M8000 为 ON，M8161 为 OFF，此时为 16 位模式。当 X0 为 ON 时，则执行 ASCII。如果放在 D100 中的 4 个字符为 OABCH，则执行后将其转换为 ASCII 码送入 D200 和 D201 中，D200 高位放 A 的 ASCII 码 41H，低位放 0 的 ASCII 码 30H，D201 则放 BC 的 ASCII 码，C 放在高位。该指令的源操作数可取所有数据类型，目标操作数可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C 和 D。只有 16 位运算，占用 7 个程序步。

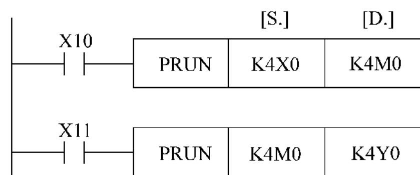


图 4-69　八进制数据传送指令的使用

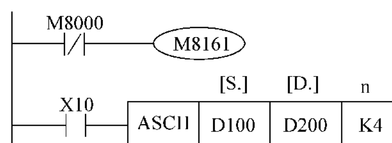


图 4-70　HEX→ASCII 转换指令的使用

ASCII→HEX 指令 HEX（P）的功能与 ASCII 指令相反，是将 ASCII 表示的信息转换成十六进制的信息。

示例及使用：如图 4-71 所示，将源操作数 D200 ~ D203 中放的 ASCII 转换成十六进制放入目标操作数 D100 和 D101 中。只有 16 位运算，占 7 个程序步。源操作数为 K、H、K_nX、K_nY、K_nM、K_nS、T、C 和 D，目标操作数为 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z。

（3）校验码指令

校验码指令 CCD（P）（FNC84）的功能是对一组数据寄存器中的十六进制数进行总校验和奇偶校验。

示例及使用：如图 4-72 所示，是将源操作数［S.］指定的 D100 ~ D102 共 6 个字节的 8 位二进制数求和并“异或”，结果分别放在目标操作数 D0 和 D1 中。通信过程中可将数据和、“异或”结果随同发送，对方接收到信息后，先将传送的数据求和并“异或”，再与收到的和及“异或”结果比较，以此判断传送信号的正确与否。源操作数可取 K_nX、K_nY、K_nM、K_nS、T、C 和 D，目标操作数可取 K_nM、K_nS、T、C 和 D，n 可用 K、H 或 D，n = 1 ~ 256。为 16 位运算指令，占 7 个程序步。

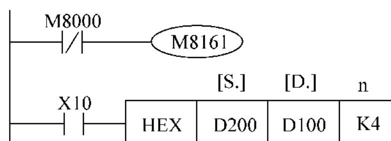


图 4-71　ASCII→HEX 指令的使用

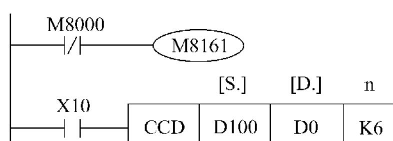


图 4-72　校验码指令的使用

以上 PRUN、ASCII、HEX、CCD 常应用于串行通信中，配合 RS 指令。

（4）模拟量输入指令

模拟量输入指令 VRRD（P）（FNC85）是用来对 FX2N－8AV－BD 模拟量的功能扩展板中的电位器数值进行读操作。

示例及使用：如图 4-73 所示，当 X0 为 ON 时，读出 FX2N－8AV－BD 中 0 号模拟量的值（由 K0 决定），将其送入 D0 作为 T0 的设定值。源操作数可取 K、H，它用来指定模拟量口的编号，取值范围为 0 ~ 7；目标操作数可取 K_nY、K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z。该指令只有 16 位运算，占 5 个程序步。

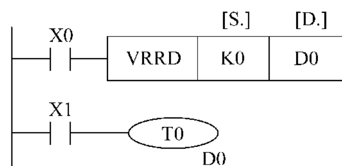


图 4-73　模拟量输入指令的使用

（5）模拟量开关设定指令

模拟量开关设定指令 VRSC（P）（FNC86）的作用是将 FX－8AV 中电位器读出的数四舍五入整量化后以 0 ~ 10 之间的整数值存放在目标操作数中。它的源操作数［S.］可取 K 和 H，用来指定模拟量口的编号，取值范围为 0 ~ 7；目标操作数［D.］的类型与 VRRD 指令相同。该指令为 16 位运算，占 9 个程序步。

4.2　状态转移图及步进梯形指令

基本逻辑指令和梯形图主要用于设计满足一般控制要求的 PLC 程序。对于复杂控制系统来说，系统的 I/O 点数较多，工艺复杂，每个工序的自锁要求及工序与工序间的相互联锁关系也复杂，直接采用逻辑指令和梯形图进行设计较为困难。在实际控制系统中，可将生产

过程的控制要求以工序划分成若干段，每个工序完成一定的功能，在满足转移条件后，从当前工序转移到下道工序，这种控制通常称为顺序控制。为了方便地进行顺序控制设计，许多可编程序控制器设置有专门用于顺序控制或称为步进控制的指令，FX2N PLC 在基本逻辑指令之外增加了两条步进指令，同时辅之以大量的状态器 S，结合状态转移图可以很容易地编出复杂的顺序控制程序。

1. 状态转移图

状态转移图（Sequential Function Chart，SFC）是描述控制系统的控制过程、功能和特性的一种图形，是基于状态（工序）的流程以机械控制的流程来表示。状态转移图又称做功能表图或顺序功能图，功能表图并不涉及所描述的控制功能的具体技术，它是一种通用的技术语言，可以用于进一步设计和不同专业的人员之间进行技术交流。

各个 PLC 厂家都开发了相应的功能表图，各国家也都制定了功能表图的国家标准。我国于 1986 年颁布了功能表图的国家标准（GB6988.6—1986《电气制图　功能表图》）[㊀]。

一个顺序控制过程可分为若干个阶段，也称为步（或状态），每个状态都有不同的动作。当相邻两状态之间的转换条件得到满足时，就将实现转换，即由上一个状态转换到下一个状态执行。常用状态转移图（功能表图）描述这种顺序控制过程。如图 4-74 所示，用状态器 S 记录每个状态，X 为转换条件。如当 X1 为 ON 时，则系统由 S20 状态转为 S21 状态。

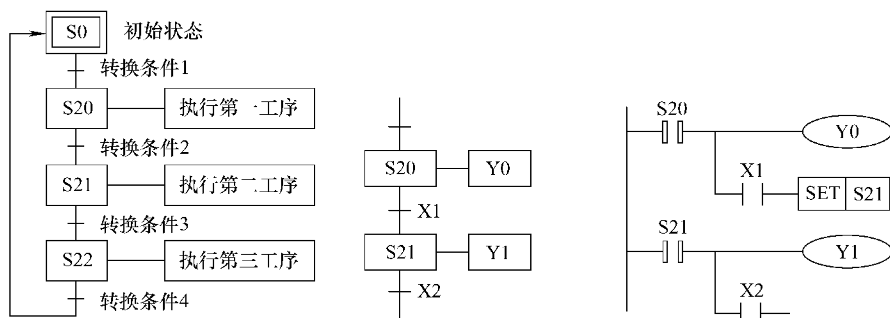


图 4-74　状态转移图与步进指令

状态转移图中的每一步包含三个内容：本步驱动的内容、转移条件及指令的转换目标。如图 4-74 中 S20 步驱动 Y0，当 X1 有效为 ON 时，则系统由 S20 状态转为 S21 状态，X1 即为转换条件，转换的目标为 S21 步。

状态器 S 是对工序步进控制进行编程的重要软元件，FX2N 系列 PLC 共有状态器 S0 ~ S999，其中 S0 ~ S9 为初始状态，因此在并行分支中最多可以有 10 个初始状态被同时选中。S10 ~ S499 为普通型，S500 ~ S899 为断电保持型，S900 ~ S999 为信号报警型。S10 ~ S19 在功能指令（FNC60）IST 的使用中被用作回零状态器。

2. 步进指令（STL/RET）

步进指令是专为顺序控制而设计的指令。在工业控制领域，许多控制过程都可用顺序控制的方式来实现，使用步进指令实现顺序控制既方便实现又便于阅读修改。

㊀　该标准目前已被替换为 GB/T 21654—2008《顺序功能表图用 GRAFCET 规范语言》。

（1）步进指令的定义与应用对象

FX2N 中有两条步进指令：STL（步进触点指令）和 RET（步进返回指令），其定义及应用对象如表 4-18 所示。

表 4-18　步进指令的定义与应用对象

指令符	名称	指令意义
STL	步进触点指令	在顺控程序上进行工序步进型控制的指令
RET	步进返回指令	表示状态流程的结束，返回主程序（母线）的指令

STL 和 RET 指令只有与状态器 S 配合才能具有步进功能。如 STL S200 表示状态常开触点，称为 STL 触点，它在梯形图中的符号为⊣⊢，它没有常闭触点。我们用每个状态器 S 记录一个工步，如 STL S200 有效（为 ON），则进入 S200 表示的一步（类似于本步的总开关），开始执行本阶段该做的工作，并判断进入下一步的条件是否满足。一旦结束本步信号为 ON，则关断 S200 进入下一步，如 S201 步。RET 指令是用来复位 STL 指令的。执行 RET 后将重回母线，退出步进状态。

（2）指令功能及说明

1）主控功能。STL 指令仅仅对状态器 S 有效。STL 指令将状态器 S 的触点与主母线相连并提供主控功能。使用 STL 指令后，触点的右侧起点处要使用 LD（LDI）指令，步进返回指令 RET 使 LD 点返回主母线。

2）自动复位功能。即状态转移后原状态会自动复位。当使用 STL 指令时，新的状态器 S 被置位，前一个状态器 S 将自动复位。对于 STL 指令后的状态器 S，使用 OUT 指令和 SET 指令具有同样的功能，即都能使转移源自动复位，另外还具有停电自保持功能，两者的差别是 OUT 指令在状态转移图中只用于向分离的状态转移，而不是向相邻的状态转移。状态转移源自动复位需将状态转移电路设置在 STL 回路中，否则原状态不会自动复位。

3）驱动功能。STL 触点可直接驱动或通过其他触点来驱动软元件线圈负载。

4）步进返回指令 RET 功能。如前所述，使用 STL 指令后，与其相连的 LD（LDI）回路块被右移，当需要把 LD（LDI）触点返回到主母线上，要用 RET 指令。这里必须注意，STL 指令与 RET 指令并不需要成对使用，但当全部 STL 电路结束时，一定要写入 RET 指令。

3. 步进梯形图指令编程基本方法

应用步进指令或状态转移图编程时，需注意指令的正确应用，注意指令的功能及程序执行中的差异。以下给出一些常见的编程方法：

1）输出的驱动方法：如图 4-75 所示，从状态内的母线，一旦写入 LD 或 LDI 指令后，对不需要触点的指令就不能再编程。需要按图示方法改变这样的回路。

2）MPS/MRD/MPP 指令的位置：在状态内，不能直接从 STL 内母线中直接使用 MPS/MRD/MPP 指令（见图 4-76），而应在 LD 或 LDI 指令后编制程序。

3）状态的转移方法：OUT 指令与 SET 指令对于 STL 指令后的状态器（S）具有同样的功能，都将自动复位转移源（见图 4-77），此外还有自保持功能。但是使用 OUT 指令时，在 STL 图中用于向分离的状态转移。

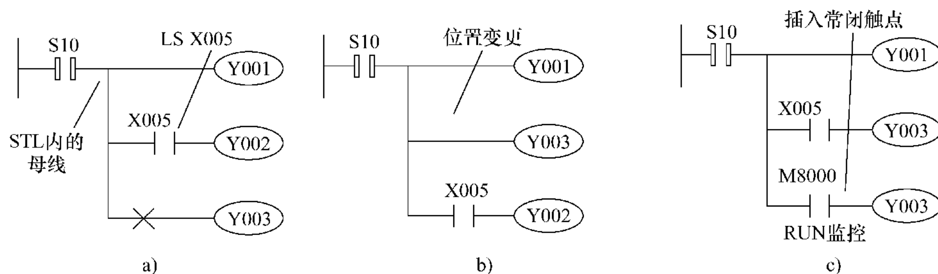


图 4-75　输出的驱动方法
a）错误的驱动方法　b）正确的驱动方法　c）正确的驱动方法

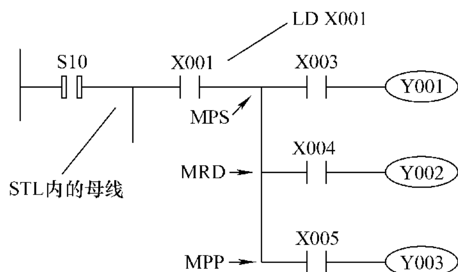


图 4-76　MPS/MRD/MPP 指令的位置

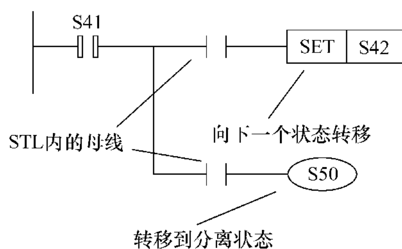


图 4-77　状态的转移方法

4）转移条件回路中不能使用的指令：在转移条件回路中，不能使用 ANB、ORB、MPS、MRD、MPP 指令（见图 4-78）。

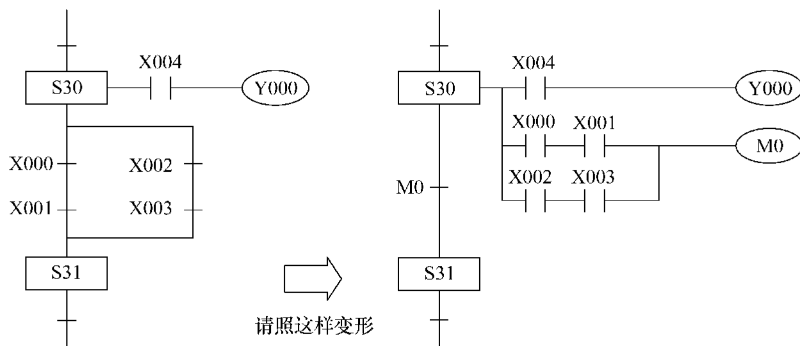


图 4-78　转移条件回路指令的应用

5）符号⇩与⬇的应用场合：在流程中表示状态的复位处理时，用符号⇩表示；而符号⬇则表示向上面的状态转移重复或向下面的状态转移（跳转），或者向分离的其他流程上的状态转移，如图 4-79 所示。

6）状态复位：在选定的区间内的状态同时复位，如图 4-80 所示。

7）禁止输出的操作：禁止运行状态中的输出（见图 4-81）。

8）断开输出继电器（Y）的操作：将 PLC 中的所有输出继电器（Y）断开（见图 4-82）。

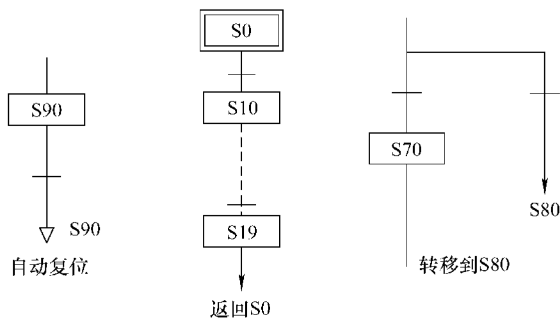


图 4-79　符号↓与↓的应用

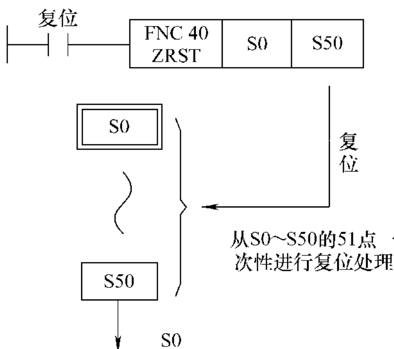


图 4-80　S0～S50 的 51 点状态器的同时复位

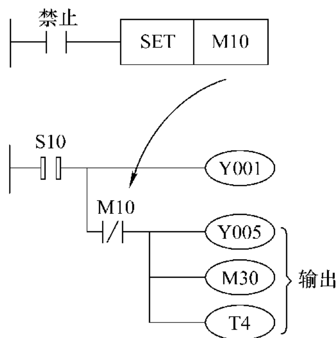


图 4-81　禁止运行状态中的输出图



图 4-82　断开输出继电器

9）SFC 需采用的特殊辅助继电器和逻辑指令：为了有效地编写 SFC 图，需要采用表 4-19 所示的数种特殊辅助继电器。

表 4-19　SFC 需采用的特殊辅助继电器和逻辑指令

特殊辅助继电器 M	执行功能	功能说明
M8000	RUN 监视	PLC 在运行过程中，需要一直接通的继电器。可作为驱动程序的输入条件或作为可编程序控制器运行状态的显示来使用
M8002	初始脉冲	在 PLC 由 STOP 到 RUN 时，仅在瞬间（一个扫描周期）接通的继电器，用于程序的初始设定或初始状态的复位
M8040	禁止转移	驱动该继电器，则禁止在所有状态之间转移。然而，即使在禁止状态转移下，由于状态内的程序仍然动作，因此，输出线圈等不会自动断开
M8046	STL 动作	任一状态接通时，M8046 自动接通。用于避免与其他流程同时起动或用作工序的动作标志
M8047	STL 监视有效	驱动该继电器，则编程功能可自动读出正在动作中的状态并加以显示。详细事项请参考各外围设备的手册

10）停电保持用状态器：用电池保持其动作状态。在机械动作中途发生停电之后，再次通电时从这里继续运行并使用这些状态。

11）利用同一种信号的状态转移：有的情况下要通过一个按钮的接通/断开动作等进行状态转移。进行这种状态转移时，需要将转移信号脉冲化编程。转移条件的脉冲化有以下两种方法：

第一，在 M0 接通 S50 之后（见图 4-83），转移条件 M1（B 触点）即刻开路，在 S50 接通的同时，不向 S51 转移。当在 M0 再次接通时，状态向 S51 转移。

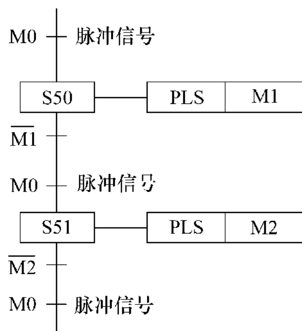


图 4-83　利用同一种信号的状态转移

第二，图 4-84 中，构成转移条件的限位开关 X030 在每次动作之后都可使工序进行一次转移。这种场合，将转移条件脉冲化，如图 4-85 所示。S30 首次导通动作，即使此时 X030 动作，M101 动作，但通过自锁脉冲 M100 使状态不向 S31 产生转移，当 X030 再次动作时，则 M100 不动作，而 M101 动作，状态从 S30 转到 S31。

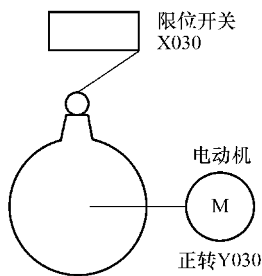


图 4-84　限位开关构成的转移条件

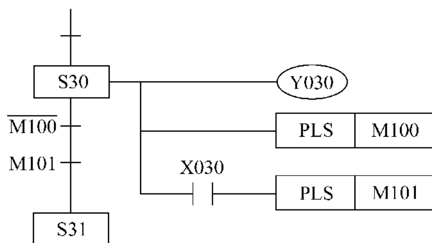


图 4-85　转移条件脉冲化

12）上升沿/下降沿检测触点使用时的注意事项：在状态内使用 LDP、LDF、ANDP、ANDF、ORP、ORF 的上升沿/下降沿检测触点时，状态器触点断开时变化的触点只有在状态器触点再次接通时才能被检出。如图 4-86a 所示，X014 下降，此时因 S3 断开，X014 的下降沿无法检出；S3 再次接通时，X014 则被检出。因此，S3 第二次动作时，立即向 S70 转移。

在状态器触点断开的情况下，对上升沿/下降沿进行检测时，应按图 4-86b 所示修改程序。

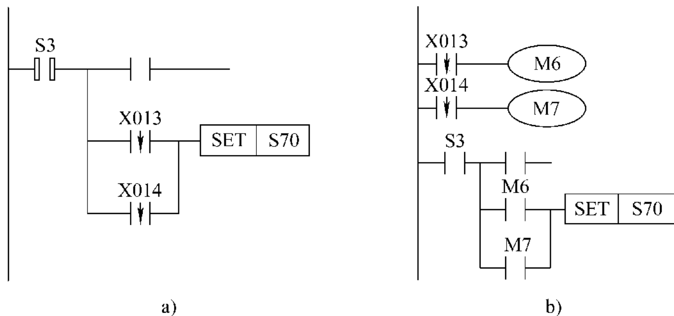


图 4-86　上升沿/下降沿检测触点使用时的编程

a）修改程序前的程序　b）修改程序后的程序

第 5 章　PLC 的控制系统设计

PLC 的应用就是在电气控制系统中以 PLC 为主控，实现对生产过程的控制。PLC 控制系统的设计与微机控制系统的设计还是有区别的，这是由于 PLC 特有的扫描工作方式和相应的硬件结构与通用微机不完全一样。同时，PLC 与继电器控制系统也有本质上的区别，因此需要结合 PLC 本身的一些特点来进行控制系统的设计。PLC 控制系统设计硬件和软件可以分开进行。

5.1　PLC 控制系统设计概述

5.1.1　PLC 控制系统设计的基本原则

在设计 PLC 控制系统时，应按照以下基本原则进行。

1. 熟悉控制对象，确定控制范围

设计前，深入现场实地考察，了解被控对象特点和生产工艺。搜集各种资料，归纳出工作状态流程图，并与有关的机械设计和实际操作人员交流和探讨，明确控制任务和设计要求。要了解工艺工程和机械运动与电气执行组件之间的关系及对控制系统的控制要求，共同拟定出电气控制方案，最后归纳出电气执行组件的动作节拍表。

2. 优化控制系统，确定 PLC 机型

在确定了控制对象和控制范围之后，需要制定相应的控制方案。在满足控制要求的前提下，力争使得设计出来的控制系统简单、可靠、经济、使用和维修方便。控制方案的制定可以根据生产工艺和机械运动的控制要求，确定电气控制系统的工作方式。综合考虑所有的要求，确定所要选用的 PLC 机型，以及其他的各种硬件设备，考虑是否还需要多机联网通信的方式。

3. 提高可靠性和安全性

在考虑完所有的控制细节和应用要求之后，还必须要特别注意控制系统的安全性和可靠性。大多数工业控制现场，充满了各种各样的干扰和潜在的突发状态。因此，在设计的最初阶段就要考虑到这方面的各种因素，到现场去观察和搜集数据。

4. 可升级性

要求在设计 PLC 控制系统的时候，应考虑到日后生产的发展和工艺的改进，而适当地留有一些余量，方便日后的升级。

5. 程序架构清晰

程序编制时要求结构清楚、可读性强、占用内存少、扫描周期短。在编制前，应充分考虑整个控制系统的架构，认真理顺各个控制部分的相互逻辑关系，设计出合理的流程图。

5.1.2　PLC 控制系统设计流程简述

PLC 控制系统的设计流程图如图 5-1 所示。

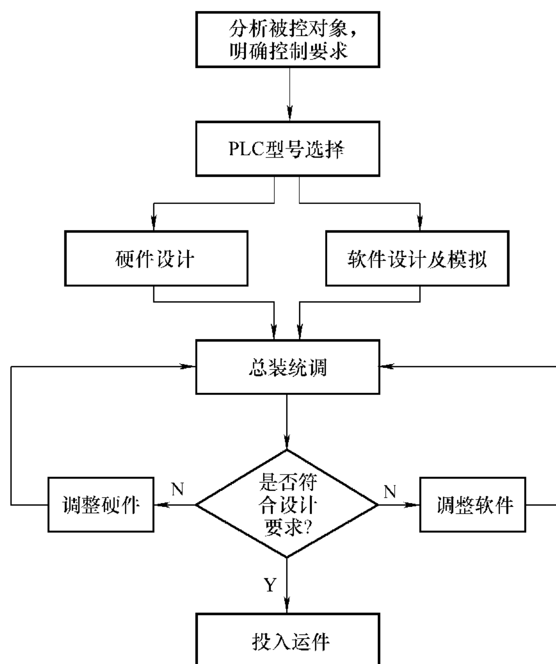


图 5-1　PLC 控制系统的设计流程图

1）分析被控对象，明确控制要求。根据生产和工艺过程分析控制要求，确定控制对象及控制范围，确定控制系统的工作方式，如全自动、半自动、手动、单机运行、多机联合运行等。还要确定系统应有的其他功能，如故障检测、诊断与显示报警、紧急情况的处理、管理功能、联网通信功能等。

2）确定所需要的 PLC 机型，以及用户输入/输出设备，据此确定 PLC 的 I/O 点数。根据系统的控制要求，确定系统的输入/输出设备的数量及种类，如按钮、开关、接触器、电磁阀和信号灯等；明确这些设备对控制信号的要求，如电压、电流的大小，直流还是交流，开关量还是模拟量，信号幅度等。据此确定 PLC 的 I/O 设备的类型、性质及数量。

3）分配 PLC 的输入/输出点地址，设计 I/O 连接图。根据已确定的输入/输出设备和选定的 PLC，列出输入/输出设备与 PLC 的 I/O 点的地址分配表，以便于编制控制程序、设计接线图及硬件安装。

4）可同时进行 PLC 的硬件设计和软件设计。硬件设计指电气线路设计，包括主电路及 PLC 外部控制电路、PLC 输入/输出接线图、设备供电系统图、电气控制柜结构及电器设备安装图等。软件设计包括状态表、状态转换图、梯形图、指令表等，控制程序设计是 PLC 系统应用中最关键的问题，也是整个控制系统设计的核心。PLC 控制系统设计前首先应分析生产工艺流程，确定被控制对象。被控制对象包括机械传动系统、电气传动系统、液压传动系统、气动传动系统等。

根据被控制对象的工作特性、传动方案的技术指标，确定对 PLC 控制系统的控制要求。这些要求包括：

① 控制的基本方式。控制的基本方式包括行程控制、时间控制、速度控制、电流/电压控制（信号来自各种传感器）等。

② 需要完成的动作。需要完成的动作包括动作及其顺序、动作条件。

③ 操作方式。包括手动（手动点动、回原点），自动（单步运行、单周期运行、自动运行）以及必要的保护与报警、联锁与互锁、现场显示、故障诊断等。

④ 确定软件与硬件分工。控制系统的某些功能可以用硬件实现，也可以用软件实现，可以按照技术方案、经济性、可靠性等指标，选用硬件实现，或者选用软件实现，或者同时选用。

5）进行总装统调。一般先要进行模拟调试，即不带输出设备根据输入/输出模块的指示灯显示进行调试。发现问题及时修改，直到完全满足符合设计要求。此后就可联机调试，先连接电气柜而不带负载，各输出设备调试正常后，再接上负载运行调试，直到完全满足设计要求为止。

6）修改或调整软硬件设计，使之符合设计的要求。

7）完成 PLC 控制系统的设计，投入实际使用。总装统调后，还要经过一段时间的试运行，以检验系统的可靠性。

8）技术文件整理。技术文件包括设计说明书、电气原理图和安装图、器件明细表、状态表、梯形图及软件使用说明书等。

5.2　PLC 控制系统设计步骤的内容

5.2.1　确定控制对象和控制范围

由图 5-1 可知，控制系统设计的第一步就是要确定控制对象和控制范围。因为这样，才知道 PLC 控制系统所应该具有的功能，从而去选择一款适合的 PLC 机型。

首先，要详细分析被控对象、控制过程和要求，熟悉了工艺流程并列出了所有的功能和指标要求后，与继电器控制系统和工业控制系统进行比较，加以选择。如果对于可靠性和安全性的要求比较高，同时控制对象所处的环境又比较差，特别是系统工艺复杂多变，输入/输出又以开关量居多，那么比较适合用 PLC 进行控制，而用常规的继电器控制系统往往难以胜任。确定了控制对象之后，应进一步确定 PLC 的控制范围。对于那种机械重复式的操作，或者容易出错的操作，以及要求比较精确的操作，应该交给 PLC 来控制。而那些紧急状况的处理和对智能判断要求比较高的操作，可以留有人工的手动操作方式的接口。

机型选择基本原则：在功能满足的前提下，力争最好的性价比，并有一定的可升级性。首先，按实际控制要求进行功能选择：单机控制还是要联网通信；一般开关量控制，还是要增加特殊单元；是否需要远程控制；现场对控制器响应速度有何要求；控制系统与现场是分开还是在一起等。然后，根据控制对象的多少选择适当的 I/O 点数和信道数；根据 I/O 信号选择 I/O 模块，选择适当的程序存储量。在具体选择 PLC 的型号时可考虑以下几个方面。

1. 功能的选择

对于以开关量为主，带少量模拟量控制的设备，一般的小型 PLC 都可以满足要求。对于模拟量控制的系统和具有很多闭环控制的系统，可视控制规模的大小和复杂程度，选用中档或高档机。对于需要联网通信的控制系统，要注意机型统一，以便其模块可相互换用，便

于备件采购和管理。功能和编程方法的统一，有利于产品的开发和升级，有利于技术水平的提高和积累。对有特殊控制要求的系统，可选用有相同或相似功能的 PLC。选用有特殊功能的 PLC，而不必添加特殊功能模块。配了上位机后，可方便地控制各独立的 PLC，连成一个多级分布的控制系统，相互通信，集中管理。

2. 基本单元的选择

基本单元的选择包括响应速度、结构形式和扩展能力。

对于开关量控制为主的系统，一般 PLC 的响应速度足以满足控制的需要。但是对于模拟量控制的系统，则必须考虑 PLC 的响应速度。在小型 PLC 中，整体式比模块式的价格便宜，体积也较小，只是硬件配置不如模块式的灵活。在排除故障所需的时间上，模块式相对来说比较短。应该多关注能扩展单元的数量、种类，以及扩展所占用的信道数和扩展口等。

3. 编程方式

PLC 的编程方式有在线编程和离线编程。

1）在线编程 PLC：有两个独立的 CPU，分别在主机和编程器上。主机 CPU 主要完成控制现场的任务，编程器 CPU 处理键盘编程命令。在扫描周期末尾，两 CPU 会互相通信，编程器里的 CPU 会把改好的程序传送给主机，主机将在下一扫描周期的时候，按照新的程序进行控制，完成在线编程的操作。可在线编程的 PLC 由于增加了软硬件，因此价格较高，但应用范围比较宽广。

2）离线编程 PLC：主机和编程器共享一个 CPU。在同一时刻，CPU 要么处于编程状态，要么处于运行状态，可通过编程器上的“运行/编程”开关进行选择。减少了软硬件开销，因此价格比较便宜，中、小型的 PLC 多采用离线编程的方式。

5.2.2　内存容量估计

内存的容量会受到内存利用率、开关量输入和输出的点数、模拟量输入和输出的点数，以及用户的编程水平的影响。

1. 内存利用率

内存利用率是一个程序段中的接点数与存放该程序段所代表的机器码所需内存字数的比值。对于同一个程序而言，高利用率不仅可以降低内存的使用量，还可以缩短扫描时间，提高系统的响应速度。

2. 开关量输入和输出的点数

PLC 输入和输出的总点数对所需内存容量的大小影响较大。一般系统中，开关量输入和输出的比为 6∶4。根据经验公式，可以算出所需内存的字数：

所需内存字数 = 开关量（输入 + 输出）总点数 ×10

3. 模拟量输入和输出的点数

模拟量的处理要用到数字传送和运算的功能指令，内存利用率较低，要更多的内存。模拟量输入，一般要经过读入、数字滤波、传送和比较等，模拟量输出，可能还要比较复杂的运算和闭环控制，将上述步骤编制成子程序进行调用，可大大减少所需内存的容量。针对 10 点左右的模拟量的经验公式：

只有模拟量输入时：内存字数 = 模拟量点数 ×100

模拟量输入/输出共存时：内存字数 = 模拟量点数 ×200

当点数小于 10 时，要适当加大内存，反之可适当减小内存。

4. PLC 程序内容和质量

（1）PLC 程序的内容

PLC 应用程序应最大限度地满足被控对象的控制要求，在构思程序主体的框架后，要以它为主线，逐一编写实现各控制功能或各子任务的程序。经过不断地调整和完善，使程序能完成所要求的控制功能。另外，PLC 应用程序通常还应包括以下几个方面的内容：

1）初始化程序。在 PLC 上电后，一般都要做一些初始化的操作。其作用是为起动做必要的准备，并避免系统发生误动作。初始化程序的主要内容为：将某些数据区、计数器进行清零；使某些数据区恢复所需数据；对某些输出量置位或复位；显示某些初始状态，等等。

2）检测、故障诊断、显示程序。应用程序一般都设有检测、故障诊断和显示程序等内容，它们也可以是相对独立的程序段。

3）保护、连锁程序。各种应用程序中，保护和连锁是不可缺少的部分。它可以杜绝由于非法操作而引起的控制逻辑混乱，保证系统的运行更安全、可靠。因此要认真考虑保护和连锁的问题。

（2）PLC 程序的质量

对同一个控制要求，即使选用同一个机型的 PLC，用不同设计方法所编写的程序，其结构也可能不同。尽管几种程序都可以实现同一控制功能，但是程序的质量却可能差别很大。程序的质量可以由以下几个方面来衡量：

1）程序的正确性。正确的程序必须能经得起系统运行实践的考验，离开这一条对程序所做的评价都是没有意义的。

2）程序的可靠性好。好的应用程序可以保证系统在正常和非正常（短时掉电再复电、某些被控量超标、某个环节有故障等）工作条件下都能安全可靠地运行，也能保证在出现非法操作（如按动或误触动了不该动作的按钮）等情况下不至于出现系统控制失误。

3）参数的易调整性好、灵活性好，容易通过修改程序或参数而改变系统的某些功能。例如，有的系统在一定情况下需要变动某些控制量的参数（如定时器或计数器的设定值等），在设计程序时必须考虑怎样编写才能易于修改。

4）程序要简练。编写的程序应尽可能简练，减少程序的语句，一般可以减少程序扫描时间，提高 PLC 对输入信号的响应速度。

5）程序的可读性好。为了有利于交流，也要求程序有一定的可读性。

5.2.3　PLC 供电方式的选择

PLC 供电方式有直流和交流两种。交流供电的 PLC 可以为用户的输入设备提供容量较小的直流供电。I/O 设备的直流供电应当分别采用独立的直流电源供电，以减少输出设备，主要是感性负载对输入的干扰。

5.2.4　输入/输出模块的选择

1. PLC 控制系统 I/O 点数估算

表 5-1 所示是典型传送设备及电气组件所需 I/O 点数。

（1）控制电磁阀所需的 I/O 点数

PLC 控制一个单线圈电磁阀需要 2 个输入点和 1 个输出点；控制一个双线圈电磁阀需要 3 个输入点和 2 个输出点；控制一个比例式电磁阀需要 3 个输入点和 5 个输出点。另外，控制一个开关需 1 个输入点，一个信号灯需 1 个输出点，而波段开关有几个波段据需要几个输入。一般情况下，各种位置开关都需要 2 个输入点。

（2）控制交流电动机所需的 I/O 点数

PLC 控制交流电动机时，是以主令信号和反馈信号作为 PLC 的输入信号。例如，用 PLC 控制一台可逆运行的笼型电动机，需要 5 个输入点和 2 个输出点；控制一台Y－△起动的交流电动机，需要 4 个输入点和 3 个输出点。

（3）控制直流电动机所需的 I/O 点数

直流调速的主要形式是晶闸管直流电动机调速系统，主要采用晶闸管整流装置对直流电动机供电。一般来说，用 PLC 控制一个可逆直流传动系统大约需要 12 个输入点和 8 个输出点，一个不可逆的直流传动系统需要 9 个输入点和 6 个输出点。

估算出被控对象的 I/O 点数后，应留有 20%～30% 的 I/O 备用量，就可选择相应的 PLC。对于单机自动化或机电一体化的产品，可以选用小型 PLC；对于控制系统规模较大，输入/输出点数又多的，可选用大、中型 PLC。

表 5-1　典型传送设备及电气组件所需 I/O 点数

序号	传送设备和电气组件	输入点数	输出点数	I/O 总点数
1	Y－△起动的笼型电动机	4	3	7
2	单向运行的笼型电动机	4	1	5
3	可逆运行的笼型电动机	5	2	7
4	单向变极电动机	5	3	8
5	可逆单向变极电动机	6	4	10
6	单向运行的直流电动机	9	16	25
7	可逆运行的直流电动机	12	8	20
8	单线圈电磁阀	2	1	3
9	双线圈电磁阀	3	2	5
10	比例阀	3	5	8
11	光电管开关	2	—	2
12	按钮开关	1	—	1
13	拨码开关	4	—	4
14	三挡波段开关	3	—	3
15	行程开关	1	—	1
16	接近开关	1	—	1
17	位置开关	2	—	2
18	信号灯	—	1	1
19	风机	—	1	1
20	制动器	—	1	1

2. 输入和输出模块的选择

输入模块的功能主要是检测来自现场设备的输入信号，并将其转换成 PLC 内部可处理的电平信号。输入模块的类型有直流和交流两种，直流中又分为 5V、12V、24V、60V 和 68V；交流又分为 110V 和 220V 两种。对于传输距离比较近的，可以选用低电平，如 5V、12V 和 24V。对于传输距离比较远的，从可靠性角度考虑，宜选用高电压的模块。从所接负载多少的方面而言，同时接通的点数不得超过 60%。另外，为了提高系统的稳定性，还必须考虑阈值电平（接通电平与断开电平的差值）的大小。阈值电平越大，越有利于远距离的传输，其抗干扰能力也就越强。

输出模块功能：将内部的输出电平转换成可匹配外部负载设备的控制信号。

注意：输出模块同时接通点数的电流累计值必须小于公共端所允许通过的电流值，输出模块的输出电流大小要大于负载电流的额定值。

5.2.5　PLC 的硬件设计

硬件设计：要完成系统流程图的设计，详细说明各个输入信息流之间的关系，具体安排输入和输出的配置，以及对输入和输出进行地址分配。

在对输入进行地址分配时，可将所有的按钮和限位开关分别集中配置，相同类型的输入点尽量分在一个组。对每一种类型的设备号，按顺序定义输入点的地址。如果有多余的输入点，可将每一个输入模块的输入点都分配给一台设备。将那些高噪声的输入模块尽量插到远离 CPU 模块的插槽内，以避免交叉干扰，因此这类输入点的地址较大。

在进行输出配置和地址分配时，也要尽量将同类型设备的输出点集中在一起。按照不同类型的设备，顺序地定义输出点地址。如果有多余的输出点，可将每一个输出模块的输出点都分配给一台设备。另外，对彼此有关联的输出器件，如电动机的正转和反转等，其输出地址应连续分配。

在进行上述工作的时候，也要结合软件设计以及系统调试等方面的考虑，合理地安排配置与地址分配的工作，这会给日后的软硬件设计和系统调试等带来很多方便。

5.2.6　PLC 的软件设计

软件设计：完成参数表的定义，程序框图的绘制，程序的编制和程序说明书的编写。

参数表为编写程序做准备，对系统各个接口参数进行规范化的定义，不仅有利于程序的编写，也有利于程序的调试。参数表的定义包括输入信号表、输出信号表、中间标志表和存储表的定义。程序框图描述了系统控制流程走向和系统功能的说明。它应该是全部应用程序中各功能单元的结构形式，据此可以了解所有控制功能在整个程序中的位置。一个详细合理的程序框图有利于程序的编写和调试。软件设计的主要过程是编写用户程序，它是控制功能的具体实现过程。程序说明书是对整个程序内容的注释性的综合说明，应包括程序设计依据、程序基本结构、各功能单元详细分析、所用公式原理、各参数来源以及程序测试情况等。

在进行系统设计时，可同时进行硬件和软件的设计。这样有利于及时发现相互之间配合上面的一些问题，及早地改进有关设计，更好地共享资源，提高效率。

5.2.7　PLC 扩展模块的选择

模拟量输入模块主要用于连接传感器或者变送器并接受其电压信号或者电流信号。在控制系统中，传感器和变送器用于测量位移、角位移、力、压力、应变、速度、加速度、温度、湿度、流量等物理量。

模拟量输出模块，用于控制被控设备，如电动调节阀、比例电磁铁、比例压力阀、比例流量阀、伺服电动机等，这些设备的输出与模拟量输出模块给定的电压或电流成比例，以实现模拟量控制。

模拟量信号的标准范围：电流是 0～20mA、4～20mA；电压是 0～5V、0～10V、－5～5V、－10～10V 等。

选择模拟量输入、模拟量输出模块的主要指标为模拟量的范围、分辨率、转换精度、转换速度、数字位数及数字量存储格式。

其他特殊功能模块还有高速计数模块、PID 过程控制模块、运动控制模块、可编程序凸轮开关模块、通信模块和网络通信模块等，用于实现特殊的控制功能。

I/O 模块是 PLC 与被控对象之间的接口，模块选择是否合适直接影响控制系统的可靠性。对于超小型及小型 PLC，I/O 模块与主机单元连在一起，选用时同样要考虑上述几个方面。

5.2.8　PLC 的外围电路设计

在控制对象的控制任务和要求及 PLC 的机型选好后，接下来的工作就是根据控制系统的具体工艺流程制作出流程图，具体安排输入、输出的配置并对 I/O 地址进行编号。分配 I/O 点时应注意以下几点：

1）强、弱电信号设备分别配置，不可放在一个回路中。

2）将 I/O 设备中的开关、按钮、电磁阀等，分别集中配置，同类型的输入点可分在一个组内，并不分在同一回路中。

3）按 PLC 上的配置顺序来给 I/O 地址编号，这样会给编程及硬件设计带来方便。完成输入和输出的配置和编号后，还应设计出 PLC 端子和现场信号之间的连接电路图以及端子号与现场信号和编号之间的对照表。

做完上述工作后，就可以按照 I/O 设备和分配好的对应的 PLC 上的 I/O 端子绘制 PLC 的外围电路接线图。

5.2.9　总装统调

1. 程序的模拟调试

软硬件设计在定型前，都要多次调试，以发现和改进错误与不足。对于 PLC 控制系统，可先模拟调试，用硬件设备，如输入器件等组成的电路产生模拟信号，并将这些信号以硬接线的方式连到 PLC 系统的输入端，来模拟现场输入信号的状态；用输出指示灯来模拟被控对象；用 FXGP 或 GPPW 软件将设计好的控制程序传送到 PLC 中，进行程序的监控和模拟调试运行。模拟调试过程中，可采用分段调试的方法，逐步扩大，直到整个程序的调试。

用户程序一般先在实验室模拟调试，实际的输入信号可以用钮子开关和按钮来模拟，各

输出量的通/断状态用 PLC 上有关的发光二极管来显示，一般不用接 PLC 实际的负载（如接触器、电磁阀等）。可以根据功能表图，在适当的时候用开关或按钮来模拟实际的反馈信号，如限位开关触点的接通和断开。

对于顺序控制程序，调试程序的主要任务是检查程序的运行是否符合功能表图的规定，即在某一转换条件实现时，是否发生步的活动状态的正确变化，即该转换所有的前级步是否变为不活动步，所有的后续步是否变为活动步，以及各步被驱动的负载是否发生相应的变化。

在调试时应充分考虑各种可能的情况，对系统各种不同的工作方式、有选择序列的功能表图中的每一条支路、各种可能的进展路线，都应逐一检查，不能遗漏。发现问题后应及时修改梯形图和 PLC 中的程序，直到在各种可能的情况下输入量与输出量之间的关系完全符合要求。

如果程序中某些定时器或计数器的设定值过大，为了缩短调试时间，可以在调试时将它们减小，模拟调试结束后再写入它们的实际设定值。

2. 总装和程序的现场调试

模拟调试通过后，才进行实际的总装，将 PLC 安装在控制现场进行联机总调试，在调试过程中将暴露出系统中可能存在的传感器、执行器和硬接线等方面的问题，以及 PLC 的外部接线图和梯形图程序设计中的问题，应对出现的问题及时加以解决。

先要仔细检查 PLC 外部设备接线是否正确，设备引脚上工作电压是否正常。在将用户程序送到 PLC 之前，可先用一些短小的测试程序检测外部的接线状况，看看有无接线故障。进行这类预调时，要将主电路先行断开，避免误操作或电路故障损坏主电路元器件。一切确认无误后，将程序送入存储器总调试，直到各部分的功能都能正常工作，协调一致成为一个正确的整体控制为止。如果调试达不到指标要求，则对相应硬件和软件部分做适当调整，或修改程序就可能达到调整的目的。全部调试结束后，可以将程序长久保存在有记忆功能的 EPROM 或 EEPROM 中。全部调试通过后，经过一段时间的考验，系统就可以投入实际的运行了。

5.3　梯形图设计法

5.3.1　PLC 程序的经验设计法

1. 概述

在 PLC 发展的初期，沿用了设计继电器电路图的方法来设计梯形图程序，即在已有的一些典型梯形图的基础上，根据被控对象对控制的要求，不断地修改和完善梯形图。有时需要多次反复地调试和修改梯形图，不断地增加中间编程元件和触点，最后才能得到一个较为满意的结果。这种方法没有普遍的规律可以遵循，设计所用的时间、设计的质量与编程者的经验有很大的关系，所以有人把这种设计方法称为经验设计法。

用经验设计法设计 PLC 程序时大致可以按照几个步骤来进行：分析控制要求、选择控制原则；设计主令元件和检测元件，确定输入/输出设备；设计执行元件的控制程序；检查、修改和完善程序。下面通过例子来介绍经验设计法。

2. 经验设计法设计示例

（1）送料小车自动控制的程序设计

1）被控对象对控制的要求。图 5-2a 所示送料小车在限位开关 X4 处装料，20s 后装料结束，开始右行，碰到 X3 后停下来卸料，25s 后左行，碰到 X4 后又停下来装料，这样不停地循环工作，直到按下停止按钮 X2。按钮 X0 和 X1 分别用来起动小车右行和左行。

2）程序设计思路。以众所周知的电动机正反转控制的梯形图为基础，设计出的小车控制梯形图如图 5-2b 所示。为使小车自动停止，将 X3 和 X4 的常闭触点分别与 Y0 和 Y1 的线圈串联。为使小车自动起动，将控制装、卸料延时的定时器 T0 和 T1 的常开触点分别与手动起动右行和左行的 X0、X1 的常开触点并联，并用两个限位开关对应的 X4 和 X3 的常开触点分别接通装料、卸料电磁阀和相应的定时器。

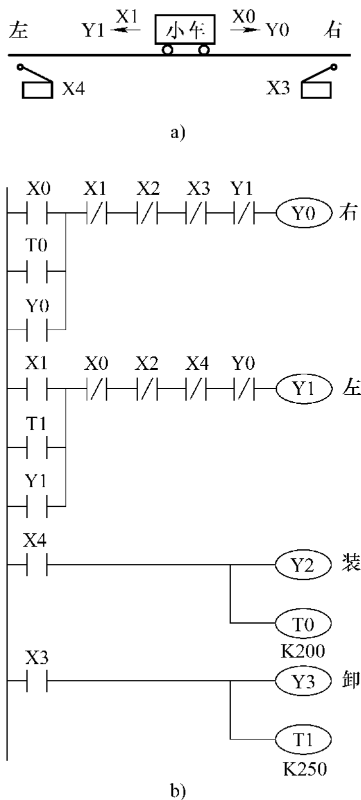


图 5-2　送料小车自动控制

a）小车运行示意图　b）梯形图

3）程序分析。设小车在起动时是空车，按下左行起动按钮 X1，Y1 得电，小车开始左行，碰到左限位开关时，X4 的常闭触点断开，使 Y1 失电，小车停止左行。X4 的常开触点接通，使 Y2 和 T0 的线圈得电，开始装料和延时。20s 后 T0 的常开触点闭合，使 Y0 得电，小车右行。小车离开左限位开关后，X4 变为 0 状态，Y2 和 T0 的线圈失电，停止装料，T0 被复位。对右行和卸料过程的分析与上面的基本相同。如果小车正在运行时按停止按钮 X2，小车将停止运动，系统停止工作。

（2）两处卸料小车自动控制的梯形图程序设计

两处卸料小车运行路线示意图如图 5-3a 所示，小车仍然在限位开关 X4 处装料，但在 X5 和 X3 两处轮流卸料。小车在一个工作循环中有两次右行都要碰到 X5，第一次碰到它时停下卸料，第二次碰到它时继续前进，因此应设置一个具有记忆功能的编程元件，区分是第一次还是第二次碰到 X5。

两处卸料小车自动控制的梯形图如图 5-3b 所示，它是在图 5-2b 的基础上根据新的控制要求修改而成的。小车在第一次碰到 X5 和碰到 X3 时都应停止右行，所以将它们的常闭触点与 Y0 的线圈串联。其中 X5 的触点并联了中间元件 M100 的触点，使 X5 停止右行的作用受到 M100 的约束，M100 的作用是记忆 X5 是第几次被碰到，它只在小车第二次右行经过 X5 时起作用。为了利用 PLC 已有的输入信号，用起保停电路来控制 M100，它的起动条件和停止条件分别是小车碰到限位开关 X5 和 X3，即 M100 在图 5-3a 中虚线所示路线内为 ON，在这段时间内 M100 的常开触点将 Y0 控制电路中 X5 常闭触点短接，因此小车第二次经过 X5 时不会停止右行。

为了实现两处卸料，将 X3 和 X5 的触点并联后驱动 Y3 和 T1。调试时发现小车从 X3 开始左行，经过 X5 时 M100 也被置位，使小车下一次右行到达 X5 时无法停止运行，因此在

M100 的起动电路中串入 Y1 的常闭触点。另外还发现小车往返经过 X5 时，虽然不会停止运动，但是出现了短暂的卸料动作，为此将 Y1 和 Y0 的常闭触点与 Y3 的线圈串联，就可解决这个问题。

3. 经验设计法的特点

经验设计法对于一些比较简单程序设计是比较奏效的，可以收到快速、简单的效果。但是，由于这种方法主要是依靠设计人员的经验进行设计，所以对设计人员的要求也就比较高，特别是要求设计者有一定的实践经验，对工业控制系统和工业上常用的各种典型环节比较熟悉。经验设计法没有规律可遵循，具有很大的试探性和随意性，往往需经多次反复修改和完善才能符合设计要求，所以设计的结果往往不很规范，因人而异。

经验设计法一般适合于设计一些简单的梯形图程序或复杂系统的某一局部程序（如手动程序等）。如果用来设计复杂系统梯形图，存在以下问题：

（1）考虑不周、设计麻烦、设计周期长

用经验设计法设计复杂系统的梯形图程序时，要用大量的中间元件来完成记忆、联锁、互锁等功能，由于需要考虑的因素很多，它们往往又交织在一起，分析起来非常困难，并且很容易遗漏一些问题。修改某一局部程序时，很可能会对系统其他部分程序产生意想不到的影响，往往花了很长时间，还得不到一个满意的结果。

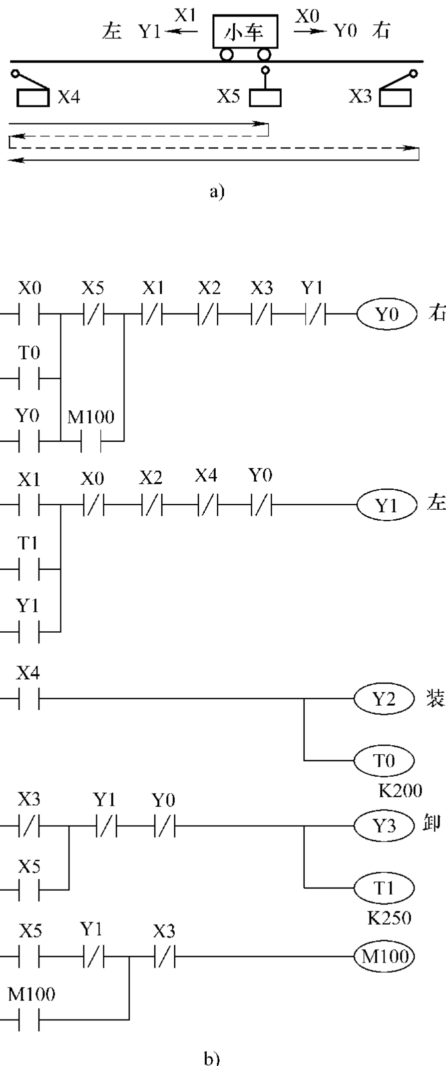


图 5-3　两处卸料小车自动控制

a）小车运行示意图　b）梯形图

（2）梯形图的可读性差、系统维护困难

用经验设计法设计的梯形图是按设计者的经验和习惯的思路进行设计。因此，即使是设计者的同行，要分析这种程序也非常困难，更不用说维修人员了，这给 PLC 系统的维护和改进带来了许多困难。

5.3.2　PLC 程序的顺序控制设计法

1. 概述

如果一个控制系统可以分解成几个独立的控制动作，且这些动作必须严格按照一定的先后次序执行才能保证生产过程的正常运行，这样的控制系统称为顺序控制系统，也称为步进控制系统。其控制总是一步一步按顺序进行。在工业控制领域中，顺序控制系统的应用很

广，尤其在机械行业，几乎无例外地利用顺序控制来实现加工的自动循环。

所谓顺序控制设计法，就是针对顺序控制系统的一种专门的设计方法。这种设计方法很容易被初学者接受，对于有经验的工程师，也会提高设计的效率，程序的调试、修改和阅读也很方便。PLC 的设计者们为顺序控制系统的程序编制提供了大量通用和专用的编程元件，开发了专门供编制顺序控制程序用的功能表图，使这种先进的设计方法成为当前 PLC 程序设计的主要方法。

2. 顺序控制设计法的设计步骤

采用顺序控制设计法进行程序设计的基本步骤及内容如下：

（1） 步的划分

顺序控制设计法最基本的思想是将系统的一个工作周期划分为若干个顺序相连的阶段，这些阶段称为步，并且用编程元件（辅助继电器 M 或状态器 S） 来代表各步。如图 5-4a 所示，步是根据 PLC 输出状态的变化来划分的，在任何一步之内，各输出状态不变，但是相邻步之间输出状态是不同的。步的这种划分方法使代表各步的编程元件与 PLC 各输出状态之间有着极为简单的逻辑关系。

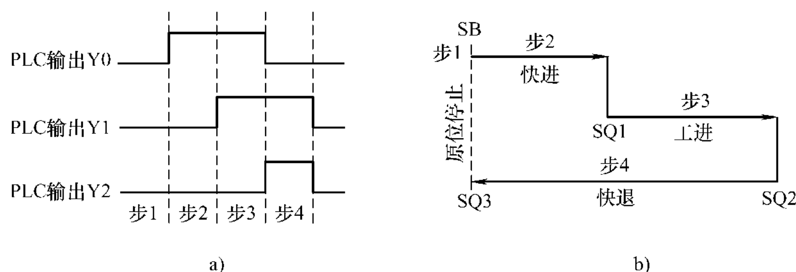


图 5-4　步的划分

a） 划分方法一　b） 划分方法二

步也可根据被控对象工作状态的变化来划分，但被控对象工作状态的变化应该是由 PLC 输出状态变化引起的。图 5-4b 所示，某液压滑台的整个工作过程可划分为停止（原位）、快进、工进、快退四步。但这四步的状态改变都必须是由 PLC 输出状态的变化引起的，否则就不能这样划分，例如从快进转为工进与 PLC 输出无关，那么快进和工进只能算一步。

（2） 转换条件的确定

使系统由当前步转入下一步的信号称为转换条件。转换条件可能是外部输入信号，如按钮、指令开关、限位开关的接通/断开等，也可能是 PLC 内部产生的信号，如定时器、计数器触点的接通/断开等，转换条件也可能是若干个信号的与、或、非逻辑组合。图 5-4b 所示的 SB、SQ1、SQ2、SQ3 均为转换条件。

顺序控制设计法用转换条件控制代表各步的编程元件，让它们的状态按一定的顺序变化，然后用代表各步的编程元件去控制各输出继电器。

（3） 功能表图的绘制

根据以上分析和被控对象工作内容、步骤、顺序和控制要求画出功能表图。绘制功能表图是顺序控制设计法中最为关键的一个步骤。

（4） 梯形图的编制

根据功能表图，按某种编程方式写出梯形图程序。如果 PLC 支持功能表图语言，则可直接使用该功能表图作为最终程序。

3. 功能表图（又称状态转移图）**的绘制**

图 5-5 所示为功能表图的一般形式，它主要由步、有向连线、转换、转换条件和动作（命令）组成。

（1）步与动作

1）步。在功能表图中用矩形框表示步，方框内是该步的编号。图 5-5 所示各步的编号为 $n-1$、n、$n+1$。编程时一般用 PLC 内部编程元件来代表各步，因此经常直接用代表该步的编程元件的元件号作为步的编号，如 M300 等，这样在根据功能表图设计梯形图时较为方便。

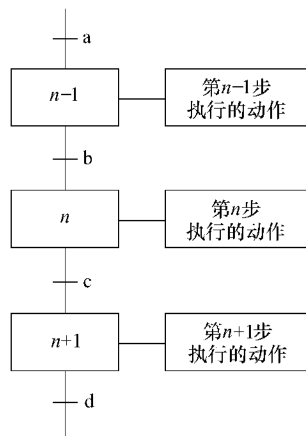


图 5-5　功能表图的一般形式

2）初始步。与系统的初始状态相对应的步称为初始步。初始状态一般是系统等待起动命令的相对静止的状态。初始步用双线方框表示，每一个功能表图至少应该有一个初始步。

3）动作。一个控制系统可以划分为被控系统和施控系统，例如在数控车床系统中，数控装置是施控系统，而车床是被控系统。对于被控系统，在某一步中要完成某些“动作”，对于施控系统，在某一步中则要向被控系统发出某些“命令”，将动作或命令简称为动作，并用矩形框中的文字或符号表示，该矩形框应与相应的步的符号相连。如果某一步有几个动作，可以用图 5-6 所示的两种画法来表示，但是图中并不隐含这些动作之间的任何顺序。

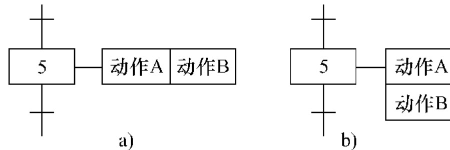


图 5-6　多个动作的表示

4）活动步。当系统正处于某一步时，该步处于活动状态，称该步为“活动步”。步处于活动状态时，相应的动作被执行。若为保持型动作则该步不活动时继续执行该动作，若为非保持型动作则指该步不活动时，动作也停止执行。一般在功能表图中保持型的动作应该用文字或助记符标注，而非保持型动作不要标注。

（2）有向连线、转换与转换条件

1）有向连线。在功能表图中，随着时间的推移和转换条件的实现，将会发生步的活动状态的顺序进展，这种进展按有向连线规定的路线和方向进行。在画功能表图时，将代表各步的方框按它们成为活动步的先后次序顺序排列，并用有向连线将它们连接起来。活动状态的进展方向习惯上是从上到下或从左至右，在这两个方向有向连线上的箭头可以省略。如果不是上述的方向，应在有向连线上用箭头注明进展方向。

2）转换。转换是用有向连线上与有向连线垂直的短划线来表示，转换将相邻两步分隔开。步的活动状态的进展是由转换的实现来完成的，并与控制过程的发展相对应。

3）转换条件。转换条件是与转换相关的逻辑条件，转换条件可以用文字语言、布尔代数表达式或图形符号标注在表示转换的短线的旁边。转换条件 X 和 $\overline{X}$ 分别表示在逻辑信号 X 为 1 状态和 0 状态时转换实现。符号 X↑和 X↓分别表示当 X 从 0 到 1 状态和从 1 到 0 状态时转换实现。使用最多的转换条件表示方法是布尔代数表达式，如转换条件 $(X0+X3)\cdot\overline{C0}$。

（3）功能表图的基本结构

1）单序列。单序列由一系列相继激活的步组成，每一步的后面仅接有一个转换，每一个转换的后面只有一个步，如图 5-7a 所示。

2）选择序列。选择序列的开始称为分支，如图 5-7b 所示，转换符号只能标在水平连线之下。如果步 6 是活动的，并且转换条件 e = 1，则发生由步 5 到步 6 的进展；如果步 9 是活动的，并且 f = 1，则发生由步 5 到步 9 的进展。在某一时刻一般只允许选择一个序列。

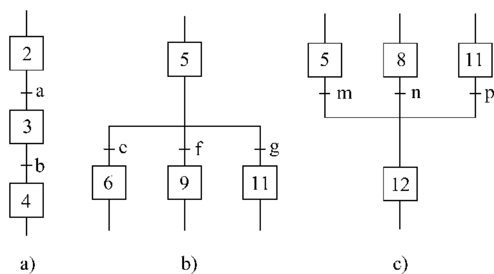


图 5-7　单序列与选择序列

a）单序列　b）选择序列开始　c）选择序列结束

选择序列的结束称为合并，如图 5-7c 所示。如果步 5 是活动步，并且转换条件 m = 1，则发生由步 5 到步 12 的进展；如果步 8 是活动步，并且 n = 1，则发生由步 8 到步 12 的进展。

3）并行序列。并行序列的开始称为分支，如图 5-8a 所示，当转换条件的实现导致几个序列同时激活时，这些序列称为并行序列。当步 4 是活动步，并且转换条件 a = 1，则 3、7、9 这三步同时变为活动步，同时步 4 变为不活动步。为了强调转换的同步实现，水平连线用双线表示。步 3、7、9 被同时激活后，每个序列中活动步的进展将是独立的。在表示同步的水平双线之上，只允许有一个转换符号。

并行序列的结束称为合并，如图 5-8b 所示，在表示同步的水平双线之下，只允许有一个转换符号。当直接连在双线上的所有前级步都处于活动状态，并且转换条件 b = 1 时，才会发生步 3、6、9 到步 10 的进展，即步 3、6、9 同时变为不活动步，而步 10 变为活动步。并行序列表示系统的几个同时工作的独立部分的工作情况。

4）子步。如图 5-9 所示，某一步可以包含一系列子步和转换，通常这些序列表示整个系统的一个完整的子功能。子步的使用使系统的设计者在总体设计时容易抓住系统的主要矛盾，用更加简洁的方式表示系统的整体功能和概貌，而不是一开始就陷入某些细节之中。设计者可以从最简单的对整个系统的全面描述开始，然后画出更详细的功能表图，子步中还可以包含更详细的子步，这使设计方法的逻辑性很强，可以减少设计中的错误，缩短总体设计和查错所需要的时间。

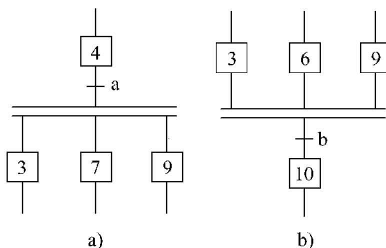


图 5-8　并行序列

a）并行序列开始　b）并行序列结束

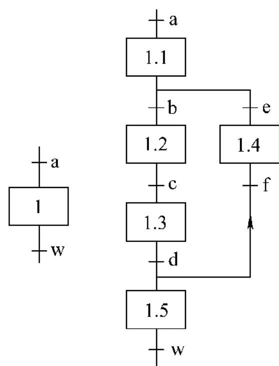


图 5-9　子步

（4）转换实现的基本规则

1）转换实现的条件。在功能表图中，步的活动状态的进展是由转换的实现来完成的。转换实现必须同时满足两个条件：

① 该转换所有的前级步都是活动步；

② 相应的转换条件得到满足。

如果转换的前级步或后续步不止一个，转换的实现称为同步实现，如图 5-10 所示。

2）转换实现应完成的操作。转换的实现应完成两个操作：

① 使所有由有向连线与相应转换符号相连的后续步都变为活动步；

② 使所有由有向连线与相应转换符号相连的前级步都变为不活动步。

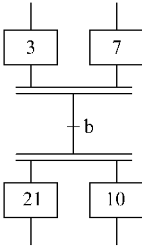


图 5-10　转换的同步实现

（5）绘制功能表图应注意的问题

1）两个步绝对不能直接相连，必须用一个转换将它们隔开。

2）两个转换也不能直接相连，必须用一个步将它们隔开。

3）功能表图中初始步是必不可少的，它一般对应于系统等待起动的初始状态，这一步可能没有什么动作执行，因此很容易遗漏这一步。如果没有该步，无法表示初始状态，系统也无法返回停止状态。

4）只有当某一步所有的前级步都是活动步时，该步才有可能变成活动步。如果用无断电保持功能的编程元件代表各步，则 PLC 开始进入 RUN 方式时各步均处于 0 状态，因此必须要有初始化信号，将初始步预置为活动步，否则功能表图中永远不会出现活动步，系统将无法工作。

（6）绘制功能表图举例

某组合机床液压滑台进给运动示意图如图 5-11a 所示，其工作过程分成原位、快进、工进、快退四步，相应的转换条件为 SB、SQ1、SQ2、SQ3。液压滑台系统各液压元件动作情况如表 5-2 所示。根据上述功能表图的绘制方法，液压滑台系统的功能表图如图 5-11b 所示。

表 5-2　液压元件动作情况

元件 工步	YV1	YV2	YV3
原位	—	—	—
快进	+	—	—
工进	+	—	+
快退	—	+	—

如果 PLC 已经确定，可直接用编程元件 M300 ~ M303（FX 系列）来代表这四步，设输入/输出设备与 PLC 的 I/O 点对应关系如表 5-3 所示，则可直接画出图 5-11b 所示的功能表图，其中 M8002 为 FX 系列 PLC 的产生初始化脉冲的特殊辅助继电器。

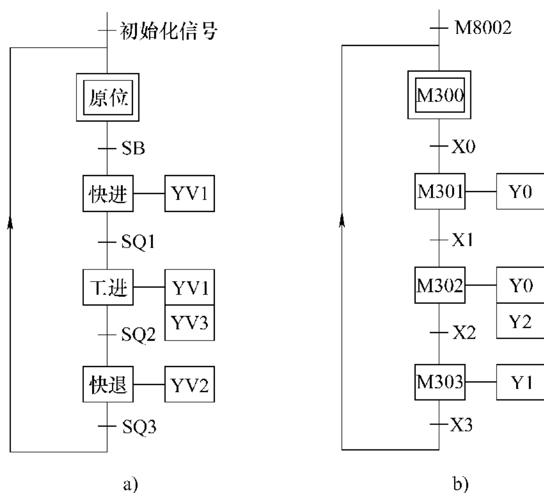


图 5-11　液压滑台系统

a）液压滑台进给运动示意图　b）液压滑台系统的功能表图

表 5-3　输入/输出设备与 PLC 的 I/O 点对应关系

PLC I/O	X0	X1	X2	X3	Y0	Y1	Y2
输入/输出设备	SB	SQ1	SQ2	SQ3	YV1	YV2	YV3

4. 顺序控制设计法中梯形图的编程方式

梯形图的编程方式是指根据功能表图设计出梯形图的方法。为了适应各厂家的 PLC 在编程元件、指令功能和表示方法上的差异，下面主要介绍使用通用指令的编程方式、以转换为中心的编程方式、使用 STL 指令的编程方式和仿 STL 指令的编程方式。

为了便于分析，假设刚开始执行用户程序时，系统已处于初始步（用初始化脉冲 M8002 将初始步置位），代表其余各步的编程元件均为 OFF，为转换的实现做好了准备。

（1）使用通用指令的编程方式

编程时用辅助继电器来代表步。某一步为活动步时，对应的辅助继电器为 1 状态，转换实现时，该转换的后续步变为活动步。由于转换条件大都是短信号，即它存在的时间比它激活的后续步为活动步的时间短，因此应使用有记忆（保持）功能的电路来控制代表步的辅助继电器。属于这类的电路有“起保停电路”和具有相同功能的使用 SET、RST 指令的电路。

图 5-12a 所示 M_{i-1}、M_i 和 M_{i+1}是功能表图中顺序相连的 3 步，X_i 是步 M_i 之前的转换条件。

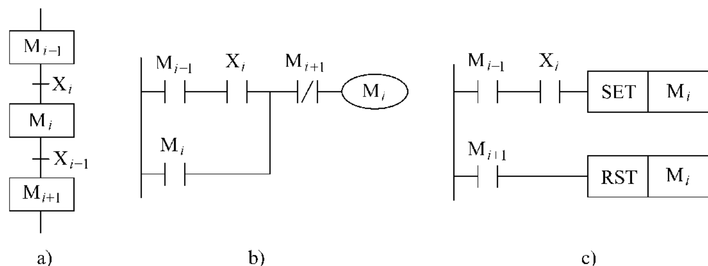


图 5-12　使用通用指令的编程方式示意图

编程的关键是找出它的起动条件和停止条件。根据转换实现的基本规则，转换实现的条件是它的前级步为活动步，并且满足相应的转换条件，所以步 M_i 变为活动步的条件是 M_{i-1} 为活动步，并且转换条件 $X_i=1$，在梯形图中则应将 M_{i-1} 和 X_i 的常开触点串联后作为控制 M_i 的起动电路，如图 5-12b 所示。当 M_i 和 X_{i+1} 均为 1 状态时，步 M_{i+1} 变为活动步，这时步 M_i 应变为不活动步，因此可以将 $M_{i+1}=1$ 作为使 M_i 变为 0 状态的条件，即将 M_{i+1} 的常闭触点与 M_i 的线圈串联。也可用 SET、RST 指令来代替“起保停电路”，如图 5-12c 所示。

这种编程方式仅仅使用与触点和线圈有关的指令，任何一种 PLC 的指令系统都有这一类指令，所以称其为使用通用指令的编程方式，可以适用于任意型号的 PLC。

图 5-13 所示是根据液压滑台系统的功能表图（见图 5-11b）使用通用指令编写的梯形图。开始运行时应将 M300 置为 1 状态，否则系统无法工作，故将 M8002 的常开触点作为 M300 置为 1 条件。M300 的前级步为 M303，后续步为 M301。由于步是根据输出状态的变化来划分的，所以梯形图中输出部分的编程极为简单，可以分为两种情况来处理：

1）某一输出继电器仅在某一步中为 1 状态，如 Y1 和 Y2 就属于这种情况，可以将 Y1 线圈与 M303 线圈并联，Y2 线圈与 M302 线圈并联。看起来用这些输出继电器来代表该步（如用 Y1 代替 M303），可以节省一些编程元件，但 PLC 的辅助继电器数量是充足、够用的，且多用编程元件并不增加硬件费用，所以一般情况下全部用辅助继电器来代表各步，具有概念清楚、编程规范、梯形图易于阅读和容易查错的优点。

2）某一输出继电器在几步中都为 1 状态，应将代表各有关步的辅助继电器的常开触点并联后，驱动该输出继电器的线圈。如 Y0 在快进、工进步均为 1 状态，所以将 M301 和 M302 的常开触点并联后控制 Y0 的线圈。

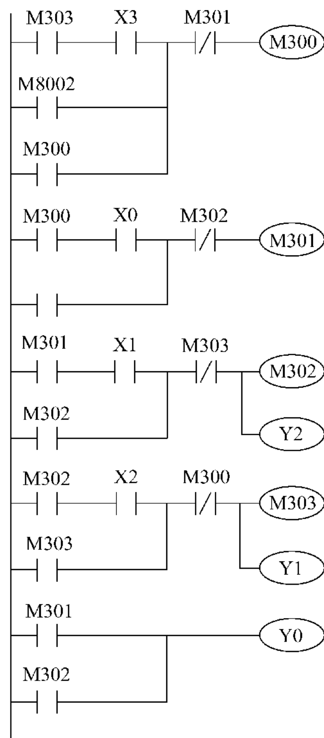


图 5-13　使用通用指令编程的液压滑台系统梯形图

注意：为了避免出现双线圈现象，不能将 Y0 线圈分别与 M301 和 M302 的线圈并联。

（2）以转换为中心的编程方式

图 5-14 所示为以转换为中心的编程方式设计的梯形图与功能表图的对应关系。图中要实现 X_i 对应的转换必须同时满足两个条件：前级步为活动步（$M_{i-1}=1$）和转换条件满足（$X_i=1$），所以用 M_{i-1} 和 X_i 的常开触点串联组成的电路来表示上述条件。若两个条件同时满足，当该电路接通时，应完成两个操作：将后续步变为活动步（用 SET M_i 指令将 M_i 置位）和将前级步变为不活动步（用 RST M_{i-1} 指令将 M_{i-1} 复位）。这种编程方式与转换实现的基本规则之间有着严格的对应关系，用它编制复杂的功能表图的梯形图时，更能显示出它的优越性。

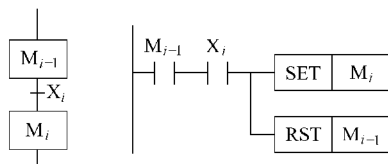


图 5-14　以转换为中心的编程方式

图 5-15 所示为某信号灯控制系统的时序图、功能表图和梯形图。初始步时仅红灯亮，按下起动按钮 X0，4s 后红灯灭、绿灯亮，6s 后绿灯和黄灯亮，再过 5s 后绿灯和黄灯灭、红灯亮。按时间的先后顺序，将一个工作循环划分为 4 步，并用定时器 T0 ~ T2 来为 3 段时间定时。开始执行用户程序时，用 M8002 的常开触点将初始步 M300 置位。按下起动按钮 X0 后，梯形图第 2 行中 M300 和 X0 的常开触点均接通，转换条件 X0 的后续步对应的 M301 被置位，前级步对应的辅助继电器 M300 被复位。M301 变为 1 状态后，控制 Y0（红灯）仍然为 1 状态，定时器 T0 的线圈通电，4s 后 T0 的常开触点接通，系统将由第 2 步转换到第 3 步，依此类推。

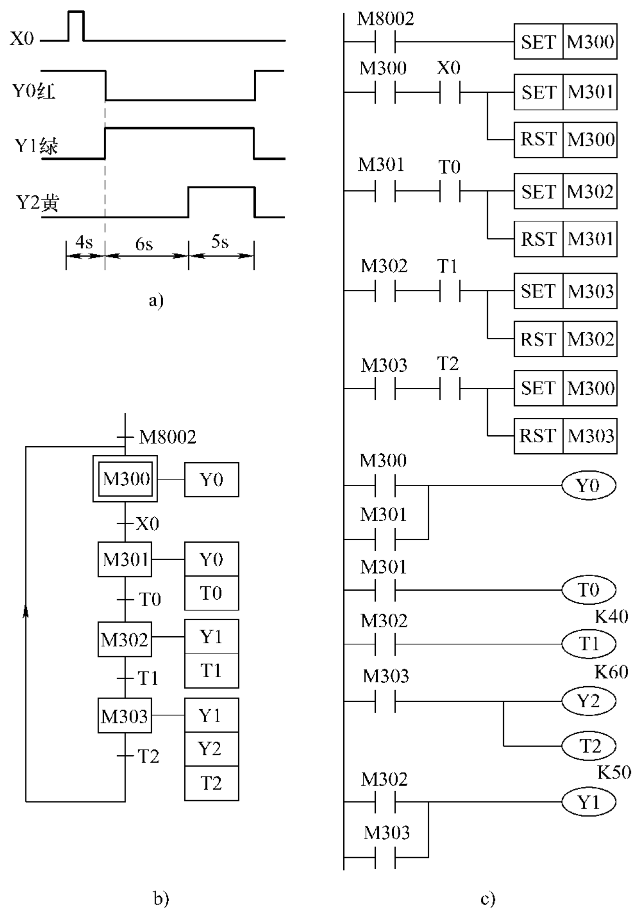


图 5-15　某信号灯控制系统

a）时序图　b）功能表图　c）以转换为中心编程的梯形图

使用这种编程方式时，不能将输出继电器的线圈与 SET、RST 指令并联，这是因为图 5-15 中前级步和转换条件对应的串联电路接通的时间是相当短的，转换条件满足后前级步立即被复位，该串联电路被断开，而输出继电器线圈至少应该在某一步活动的全部时间内接通。

（3）使用 STL 指令的编程方式

步进梯形指令（Step Ladder Instruction）简称为 STL 指令。FX 系列就有 STL 指令和 RET 复位指令。利用这两条指令，可以很方便地编制顺序控制梯形图程序。

FX2N 系列 PLC 的状态器 S0 ~ S9 用于初始步，S10 ~ S19 用于返回原点，S20 ~ S499 为通用状态，S500 ~ S899 有断电保持功能，S900 ~ S999 用于报警。用它们编制顺序控制程序时，应与步进梯形指令一起使用。FX 系列还有许多用于步进顺控编程的特殊辅助继电器以及使状态初始化的功能指令 IST，使 STL 指令用于设计顺序控制程序更加方便。

使用 STL 指令的状态器的常开触点称为 STL 触点，它们在梯形图中的元件符号如图 5-16 所示。从中可以看出功能表图与梯形图之间的对应关系，STL 触点驱动的电路块具有三个功能：对负载的驱动处理、指定转换条件和指定转换目标。

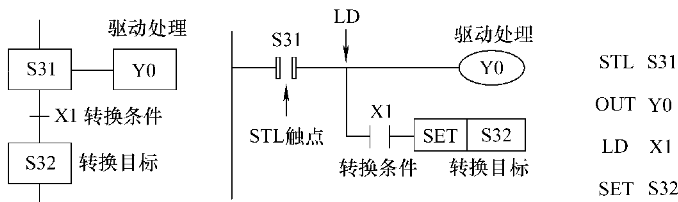


图 5-16　STL 指令与功能表图

除了后面要介绍的并行序列的合并对应的梯形图外，STL 触点是与左侧母线相连的常开触点，当某一步为活动步时，对应的 STL 触点接通，该步的负载被驱动。当该步后面的转换条件满足时，转换实现，即后续步对应的状态器被 SET 指令置位，后续步变为活动步，同时与前级步对应的状态器被系统程序自动复位，前级步对应的 STL 触点断开。

使用 STL 指令时应该注意以下一些问题：

1）与 STL 触点相连的触点应使用 LD 或 LDI 指令，即 LD 点移到 STL 触点的右侧，直到出现下一条 STL 指令或出现 RET 指令，RET 指令使 LD 点返回左侧母线。各个 STL 触点驱动的电路一般放在一起，最后一个电路结束时一定要使用 RET 指令。

2）STL 触点可以直接驱动或通过别的触点驱动 Y、M、S、T 等元件的线圈，STL 触点也可以使 Y、M、S 等元件置位或复位。

3）STL 触点断开时，CPU 不执行它驱动的电路块，即 CPU 只执行活动步对应的程序。在没有并行序列时，任何时候只有一个活动步，因此大大缩短了扫描周期。

4）由于 CPU 只执行活动步对应的电路块，使用 STL 指令时允许双线圈输出，即同一元件的几个线圈可以分别被不同的 STL 触点驱动。实际上在一个扫描周期内，同一元件的几条 OUT 指令中只有一条被执行。

5）STL 指令只能用于状态寄存器，在没有并行序列时，一个状态寄存器的 STL 触点在梯形图中只能出现一次。

6）STL 触点驱动的电路块中不能使用 MC 和 MCR 指令，但是可以使用 CJP 和 EJP 指令。当执行 CJP 指令跳入某一 STL 触点驱动的电路块时，不管该 STL 触点是否为 1 状态，均执行对应的 EJP 指令之后的电路。

7）与普通的辅助继电器一样，可以对状态寄存器使用 LD、LDI、AND、ANI、OR、ORI、SET、RST、OUT 等指令，这时状态器触点的画法与普通触点的画法相同。

8）使状态器置位的指令如果不在 STL 触点驱动的电路块内，执行置位指令时系统程序不会自动将前级步对应的状态器复位。

图 5-17 所示小车一个周期内的运动路线由 4 段组成，它们分别对应于 S31 ~ S34 所代表的 4 步，S0 代表初始步。

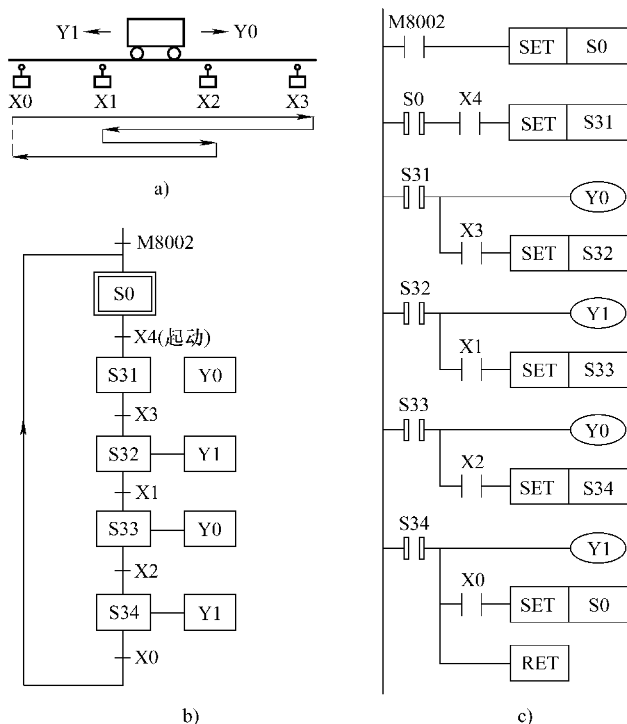


图 5-17　小车控制系统

a）时序图　b）功能表图　c）梯形图

假设小车位于原点（最左端），系统处于初始步，S0 为 1 状态。按下起动按钮 X4，系统由初始步 S0 转换到步 S31。S31 的 STL 触点接通，Y0 的线圈“通电”，小车右行，行至最右端时，限位开关 X3 接通，使 S32 置位，S31 被系统程序自动置为 0 状态，小车变为左行，小车将这样一步一步地顺序工作下去，最后返回起始点，并停留在初始步。图 5-17 中的梯形图对应的指令表程序如表 5-4 所示。

表 5-4　小车控制系统指令表

指令表		指令表		指令表		指令表	
LD	M8002	OUT	Y0	SET	S33	OUT	Y1
SET	S0	LD	X3	STL	S33	LD	X0
STL	S0	SET	S32	OUT	Y0	SET	S0
LD	X4	STL	S32	LD	X2	RET	
SET	S31	OUT	Y1	SET	S34		
STL	S31	LD	X1	STL	S34		

（4）仿 STL 指令的编程方式

对于没有 STL 指令的 PLC，也可以仿照 STL 指令的设计思路来设计顺序控制梯形图，这就是下面要介绍的仿 STL 指令的编程方式。

图 5-18 所示为某加热炉送料系统的功能表图与梯形图。除初始步外，各步的动作分别为开炉门、推料、推料机返回和关炉门，分别用 Y0、Y1、Y2、Y3 驱动动作。X0 是起动按钮，X1 ~ X4 分别是各动作结束的限位开关。与左侧母线相连的 M300 ~ M304 的触点，其作用与 STL 触点相似，它右边的电路块的作用为驱动负载、指定转换条件和转换目标，以及使前级步的辅助继电器复位。

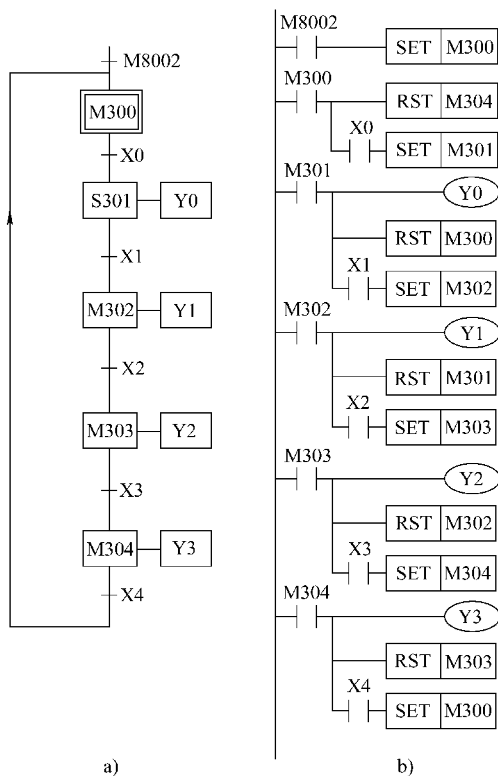


图 5-18　加热炉送料系统的功能表图与梯形图

a）功能表图　b）梯形图

由于这种编程方式用辅助继电器代替状态器，用普通的常开触点代替 STL 触点，因此，与使用 STL 指令的编程方式相比，有以下的不同之处：

1）与代替 STL 触点的常开触点（图 5-18 中 M300 ~ M304 的常开触点）相连的触点，应使用 AND 或 ANI 指令，而不是 LD 或 LDI 指令。

2）在梯形图中用 RST 指令来完成代表前级步的辅助继电器的复位，而不是由系统程序自动完成。

3）不允许出现双线圈现象，当某一输出继电器在几步中均为 1 状态时，应将代表这几步的辅助继电器常开触点并联来控制该输出继电器的线圈。

5. 功能表图中几个特殊编程问题

（1）跳步与循环

复杂的控制系统不仅 I/O 点数多，功能表图也相当复杂，除包括前面介绍的功能表图的基本结构外，还包括跳步与循环控制，而且系统往往还要求设置多种工作方式，如手动和自动（包括连续、单周期、单步等）工作方式。手动程序比较简单，一般用经验法设计，自动程序的设计一般用顺序控制设计法。

1）跳步。图 5-19 所示用状态器来代表各步，当步 S31 是活动步，并且 X5 变为 1 时，将跳过步 S32，由步 S31 进展到步 S33。这种跳步与 S31→S32→S33 等组成的“主序列”中有向连线的方向相同，称为正向跳步。当步 S34 是活动步，并且转换条件 $X4 \cdot \overline{C0} = 1$ 时，将从步 S34 返回到步 S33，这种跳步与“主序列”中有向连线的方向相反，称为逆向跳步。显然，跳步属于选择序列的一种特殊情况。

2）循环。在设计梯形图程序时，经常遇到一些需要多次重复的操作，如果一次一次地

编程，显然是非常烦琐的。常常采用循环的方式来设计功能表图和梯形图，如图 5-19 所示。假设要求重复执行 10 次由步 S33 和步 S34 组成的工艺过程，用 C0 控制循环次数，它的设定值等于循环次数 10。每执行一次循环，在步 S34 中使 C0 的当前值减 1，这一操作是将 S34 的常开触点接在 C0 的计数脉冲输入端来实现的，当步 S34 变为活动步时，S34 的常开触点由断开变为接通，使 C0 的当前值减 1。每次执行循环的最后一步，都根据 C0 的当前值是否为零来判别是否应结束循环，图 5-19 中是用步 S34 之后选择序列的分支来实现的。假设 X4 为 1，如果循环未结束，C0 的常闭触点闭合，转换条件 $X4 \cdot \overline{C0}$满足并返回步 S33；当 C0 的当前值减为 0，其常开触点接通，转换条件 X4 · C0 满足，将由步 S34 进展到步 S35。

在循环程序执行之前或执行完后，应将控制循环的计数器复位，才能保证下次循环时循环计数。复位操作应放在循环之外，图 5-20 中计数器复位在步 S0 和步 S35 显然比较方便。

（2）选择序列和并行序列的编程

循环和跳步都属于选择序列的特殊情况。对选择序列和并行序列编程的关键在于对它们的分支和合并的处理，转换实现的基本规则是设计复杂系统梯形图的基本准则。与单序列不同的是，在选择序列和并行序列的分支、合并处，某一步或某一转换可能有几个前级步或几个后续步，在编程时应注意这个问题。

1）选择序列的编程。

① 使用 STL 指令的编程

如图 5-20 所示，步 S0 之后有一个选择序列的分支，当步 S0 是活动步，且转换条件 X0 为 1 时，将执行左边的序列，如果转换条件 X3 为 1 状态，将执行右边的序列。步 S32 之前有一个由两条支路组成的选择序列的合并，当 S31 为活动步，转换条件 X1 得到满足，或者 S33 为活动步，转换条件 X4 得到满足，都将使步 S32 变为活动步，同时系统程序使原来的活动步变为不活动步。

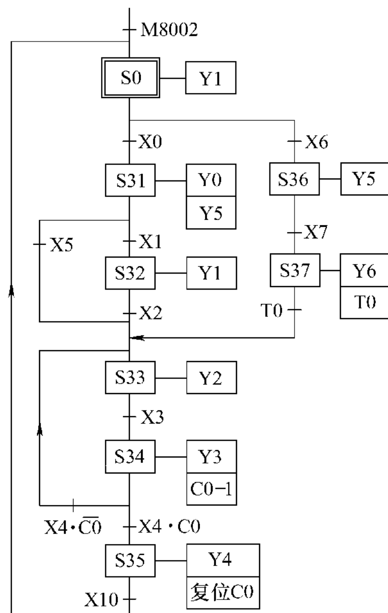


图 5-19　含有跳步和循环的功能表图

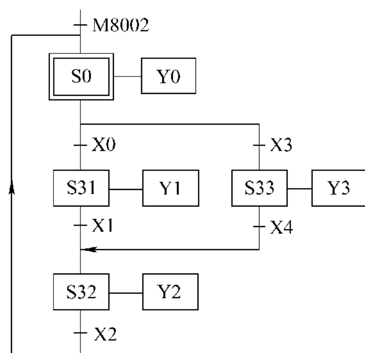


图 5-20　选择序列的功能表图一

图 5-21 所示为对图 5-20 采用 STL 指令编写的梯形图，对于选择序列的分支，步 S0 之后的转换条件为 X0 和 X3，可能分别进展到步 S31 和 S33，所以在 S0 的 STL 触点开始的电路块中，有分别由 X0 和 X3 作为置位条件的两条支路。对于选择序列的合并，由 S31 和 S33 的 STL 触点驱动的电路块中的转换目标均为 S32。

在设计梯形图时，其实没有必要特别留意选择序列如何处理，只要正确地确定每一步的转换条件和转换目标即可。

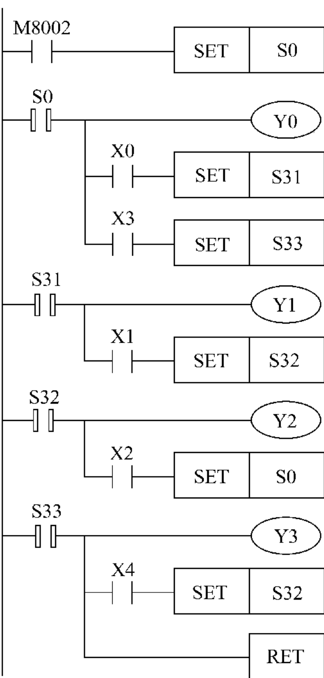


图 5-21　选择序列的梯形图一

② 使用通用指令的编程

图 5-23 所示为对图 5-22 功能表图使用通用指令编写的梯形图，对于选择序列的分支，当后续步 M301 或 M303 变为活动步时，都应使 M300 变为不活动步，所以应将 M301 和 M303 的常闭触点与 M300 线圈串联。对于选择序列的合并，当步 M301 为活动步，并且转换条件 X1 满足，或者步 M303 为活动步，并且转换条件 X4 满足，步 M302 都应变为活动步。M302 的起动条件应为：M301 · X1 + M303 · X4，对应的起动电路由两条并联支路组成，每条支路分别由 M301、X1 和 M303、X4 的常开触点串联而成。

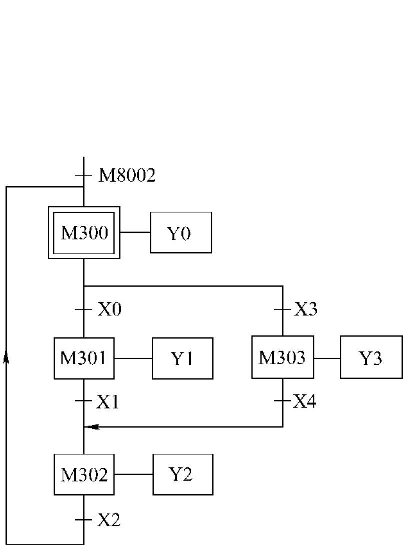


图 5-22　选择序列的功能表图二

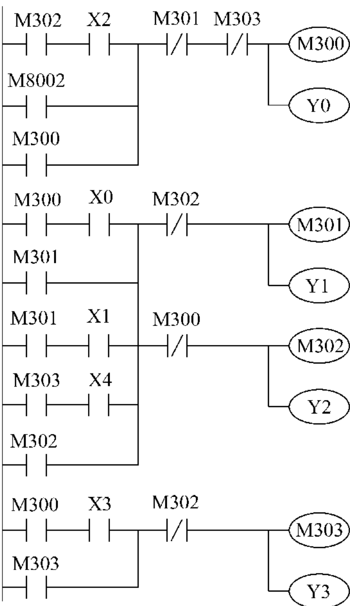


图 5-23　选择序列的梯形图三

③ 以转换为中心的编程

图 5-24 所示是对图 5-22 采用以转换为中心的编程方法设计的梯形图。用仿 STL 指令的编程方式来设计选择序列的梯形图。

2）并行序列的编程。

① 使用 STL 指令的编程

图 5-25 所示为包含并行序列的功能表图，由 S31、S32 和 S34、S35 组成的两个序列是并行工作的，设计梯形图时应保证这两个序列同时开始和同时结束，即两个序列的第一步 S31 和 S34 应同时变为活动步，两个序列的最后一步 S32 和 S35 应同时变为不活动步。并行序列的分支的处理是很简单的，当步 S0 是活动步，并且转换条件 X0 = 1，步 S31 和 S34 同时变为活动步，两个序列开始同时工作。当两个前级步 S32 和 S35 均为活动步且转换条件满足，将实现并行序列的合并，即转换的后续步 S33 变为活动步，转换的前级步 S32 和 S35 同时变为不活动步。

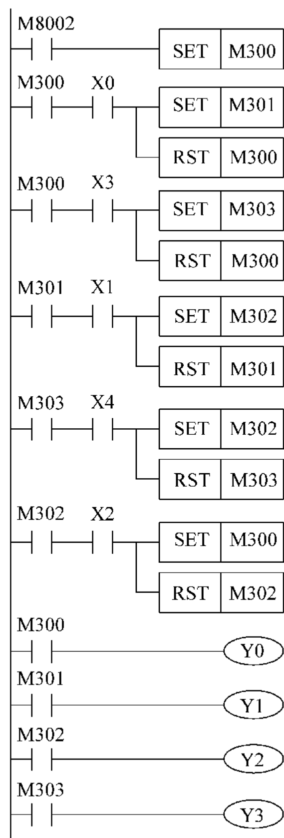


图 5-24 选择序列的梯形图四

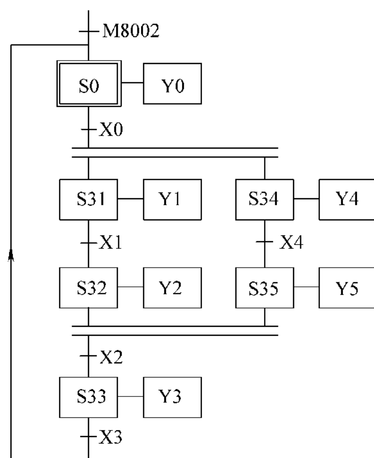


图 5-25 包含并行序列的功能表图

图 5-26 所示是对图 5-25 采用 STL 指令编写的梯形图。对于并行序列的分支，当 S0 的 STL 触点和 X0 的常开触点均接通时，S31 和 S34 被同时置位，系统程序将前级步 S0 变为不活动步；对于并行序列的合并，用 S32、S35 的 STL 触点和 X2 的常开触点组成的串联电路使 S33 置位。在图 5-27 中，S32 和 S35 的 STL 触点出现了两次，如果不涉及并行序列的合并，同一状态器的 STL 触点只能在梯形图中使用一次，当梯形图中再次使用该状态器时，只能使用该状态器的一般的常开触点和 LD 指令。另外，FX 系列 PLC 规定串联的 STL 触点的个数不能超过 8 个，换句话说，一个并行序列中的序列数不能超过 8 个。

② 使用通用指令的编程

图 5-27 所示的功能表图包含了跳步、循环、选择序列和并行序列等基本环节。

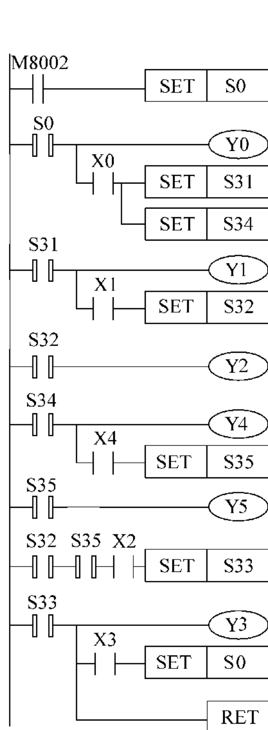


图 5-26　并行序列的梯形图

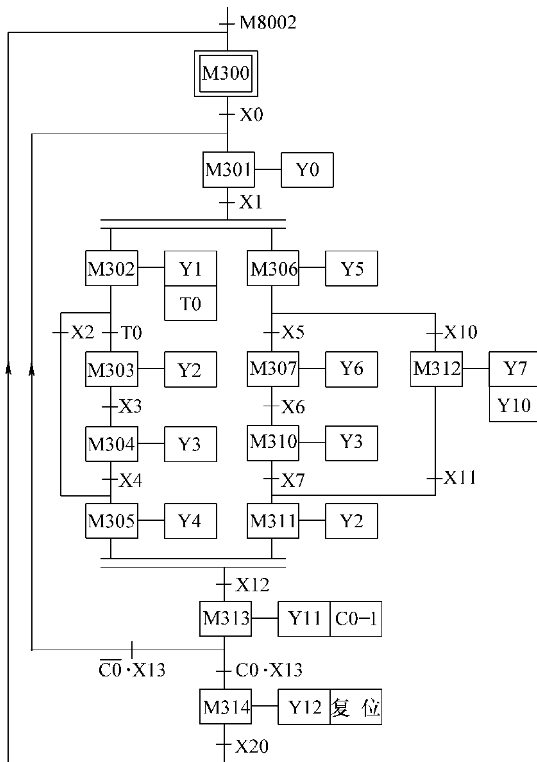


图 5-27　复杂的功能表图

图 5-28 所示是对图 5-27 采用通用指令编写的梯形图。步 M301 之前有一个选择序列的合并，有两个前级步 M300 和 M313，M301 的起动电路由两条串联支路并联而成。M313 与 M301 之间的转换条件为$\overline{C0}$ · X13，相应的起动电路的逻辑表达式为 M313 · $\overline{C0}$ · X13，该串联支路由 M313、X13 的常开触点和 C0 的常闭触点串联而成，另一条起动电路则由 M300 和 X0 的常开触点串联而成。步 M301 之后有一个并行序列的分支，当步 M301 是活动步，并且满足转换条件 X1，步 M302 与步 M306 应同时变为活动步，这是用 M301 和 Xl 的常开触点组成的串联电路分别作为 M302 和 M306 的起动电路来实现的，与此同时，步 M301 应变为不活动步。步 M302 和 M306 是同时变为活动步的，因此只需要将 M302 的常闭触点与 M301 的线圈串联就行了。

步 M313 之前有一个并行序列的合并，该转换实现的条件是所有的前级步（即步 M305 和 M311）都是活动步和转换条件 X12 满足。由此可知，应将 M305、M311 和 X12 的常开触点串联，作为控制 M313 的起动电路。M313 的后续步为步 M314 和 M301，M313 的停止电路由 M314 和 M301 的常闭触点串联而成。

编程时应该注意以下几个问题：

① 不允许出现双线圈现象。

② 当 M314 变为 1 状态后，C0 被复位（见图 5-28），其常闭触点闭合。下一次扫描开始时 M313 仍为 1 状态（因为在梯形图中 M313 的控制电路放在 M314 的上面），使 M301 的

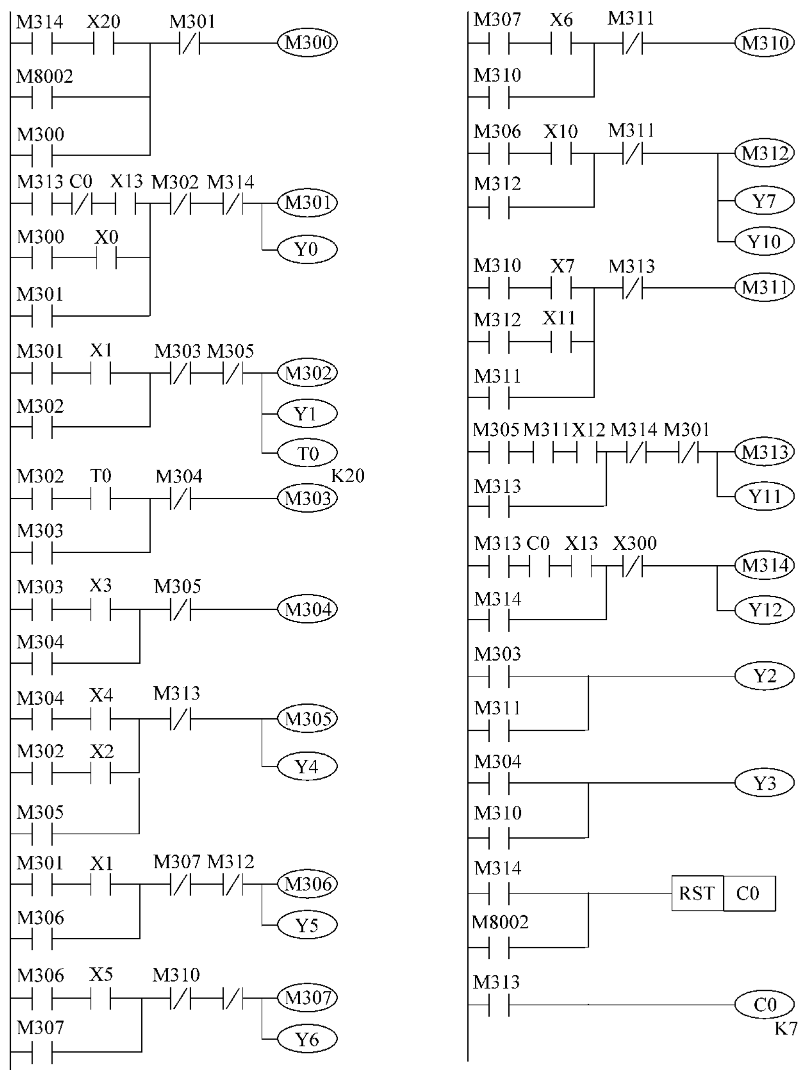


图 5-28　使用通用指令编写的梯形图

控制电路中最上面的一条起动电路接通，M301 的线圈被错误地接通，出现了 M314 和 M301 同时为 1 状态的异常情况。为了解决这一问题，将 M314 的常闭触点与 M301 的线圈串联。

③ 如果在功能表图中仅有由两步组成的小闭环，如图 5-29 所示，则相应的辅助继电器的线圈将不能“通电”。例如在 M202 和 X2 均为 1 状态时，M203 的起动电路接通，但是这时与它串联的 M202 的常闭触点却是断开的，因此 M203 的线圈将不能“通电”。出现上述问题的根本原因是步 M202 既是步 M203 的前级步，又是它的后续步。图 5-30 所示在小闭环中增设一步就可以解决这一问题，这一步只起延时作用，延时时间可以取得很短，对系统的运行不会有什么影响。

3）使用以转换为中心的编程。与选择序列的编程基本相同，只是要注意并行序列分支与合并处的处理。

4）使用仿 STL 指令的编程。图 5-31 所示是对图 5-27 采用仿 STL 指令编写的梯形图。

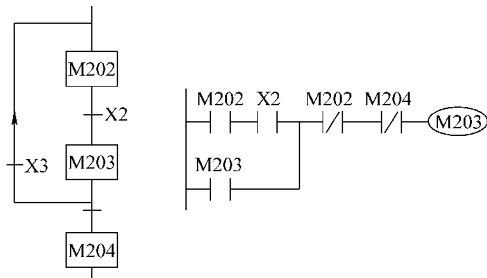


图 5-29　仅有两步的小闭环的处理（小闭环两步）

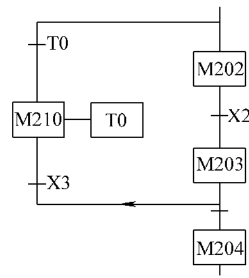


图 5-30　小闭环增设一步的处理

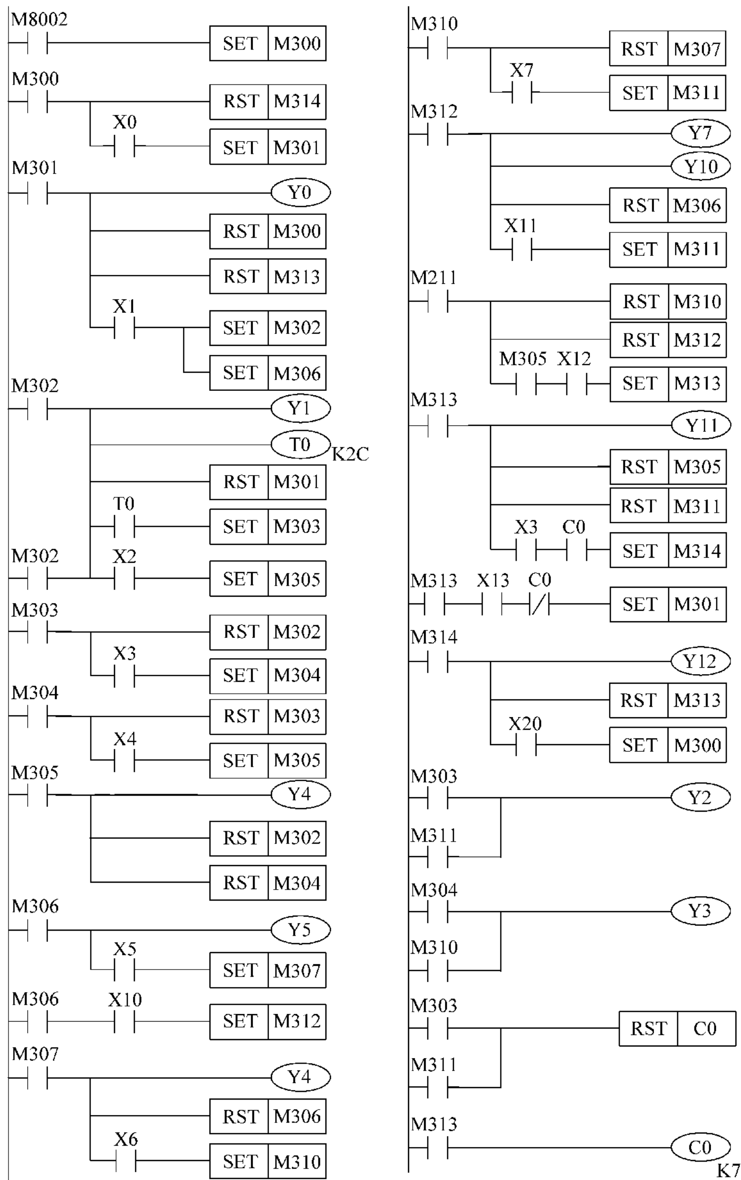


图 5-31　采用仿 STL 指令编写的梯形图

在编程时用接在左侧母线上与各步对应的辅助继电器的常开触点分别驱动一个并联电路块。这个并联电路块的功能如下：驱动只在该步为 1 状态的负载的线圈；将该步所有的前级步对应的辅助继电器复位；指明该步之后的一个转换条件和相应的转换目标。以 M301 的常开触点开始的电路块为例，当 M301 为 1 状态时，仅在该步为 1 状态的负载 Y0 被驱动，前级步对应的辅助继电器 M300 和 M313 被复位。当该步之后的转换条件 X1 为 1 状态时，后续步对应的 M302 和 M306 被置位。

如果某步之后有多个转换条件，可将它们分开处理，例如步 M302 之后有两个转换，其中转换条件 T0 对应的串联电路放在电路块内，接在左侧母线上的 M302 的另一个常开触点和转换条件 X2 的常开触点串联，作为 M305 置位的条件。某一负载如果在不同的步为 1 状态，它的线圈不能放在各对应步的电路块内，而应该用相应辅助继电器的常开触点的并联电路来驱动它。

5.3.3　PLC 程序的逻辑设计法

逻辑设计方法是以逻辑组合或逻辑时序的方法和形式来设计 PLC 程序，可分为组合逻辑设计法和时序逻辑设计法两种。这些设计方法既有严密可循的规律性、明确可行的设计步骤，又具有简便、直观和规范的特点。

1. PLC 程序的组合逻辑设计法

(1) 逻辑函数与梯形图的关系

组合逻辑设计法的理论基础是逻辑代数。我们知道，逻辑代数的三种基本运算“与”、“或”、“非”都有着非常明确的物理意义。逻辑函数表达式的线路结构与 PLC 梯形图相互对应，可以直接转化。

图 5-32 所示为逻辑函数与梯形图的对应关系，其中图 5-32a 是多变量的逻辑“与”运算函数与梯形图，图 5-32b 为多变量“或”运算函数与梯形图，图 5-32c 为多变量“或与”运算函数与梯形图，图 5-32d 为多变量“与或”运算函数与梯形图。

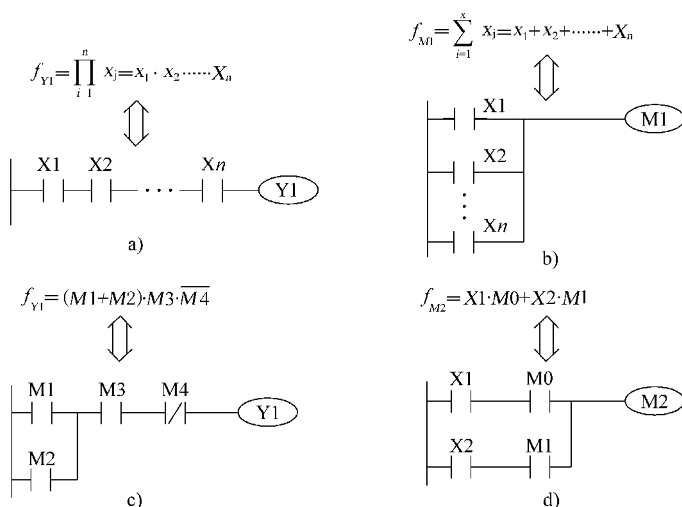


图 5-32　逻辑函数与梯形图的对应关系

a)“与”运算　b)“或”运算　c)“或与”运算　d)“与或”运算

由图 5-32 可知，当一个逻辑函数用逻辑变量的基本运算式表达出来后，实现这个逻辑函数的梯形图也就确定了。

（2）组合逻辑设计法的编程步骤

组合逻辑设计法适合于设计开关量控制程序，它是对控制任务进行逻辑分析和综合，将元件的通、断电状态视为以触点通、断状态为逻辑变量的逻辑函数，对经过化简的逻辑函数，利用 PLC 逻辑指令可顺利地设计出满足要求且较为简练的程序。这种方法设计思路清晰，所编写的程序易于优化。

用组合逻辑设计法进行程序设计一般可分为以下几个步骤：

1）明确控制任务和控制要求，通过分析工艺过程绘制工作循环和检测元件分布图，取得电气执行元件功能表。

2）详细绘制系统状态转换表。通常它由输出信号状态表、输入信号状态表、状态转换主令表和中间记忆装置状态表四个部分组成。状态转换表全面、完整地展示了系统各部分、各时刻的状态和状态之间的联系及转换，非常直观，对建立控制系统的整体联系、动态变化的概念有很大帮助，是进行系统的分析和设计的有效工具。

3）根据状态转换表进行系统的逻辑设计，包括列写中间记忆元件的逻辑函数式和执行元件（输出量）的逻辑函数式。这两个函数式组，既是生产机械或生产过程内部逻辑关系和变化规律的表达形式，又是构成控制系统实现控制目标的具体程序。

4）将逻辑设计的结果转化为 PLC 程序。逻辑设计的结果（逻辑函数式）能够很方便地过渡到 PLC 程序，特别是语句表形式，其结构和形式都与逻辑函数式非常相似，很容易直接由逻辑函数式转化。当然，如果设计者需要由梯形图程序作为一种过渡，或者选用的 PLC 的编程器具有图形输入的功能，则也可以首先由逻辑函数式转化为梯形图程序。

（3）组合逻辑设计举例

下面通过步进电动机环形分配器的 PLC 程序来进行说明：

1）工作原理。步进电动机控制主要有三个重要参数，即转速、转过的角度和转向。由于步进电动机的转动是由输入脉冲信号控制，所以转速是由输入脉冲信号的频率决定，而转过的角度由输入脉冲信号的脉冲个数决定。转向由环形分配器的输出通过步进电动机 A、B、C 相绕组来控制，环形分配器通过控制各相绕组通电的相序来控制步进电动机转向。

图 5-33 给出了一个双向三相六拍环形分配器的逻辑电路。电路的输出除决定于复位信号 RESET外，还决定于输出端 Q_A、Q_B、Q_C 的历史状态及控制信号 EN 使能信号、CON 正反转控制信号和输入脉冲信号。其真值表如表 5-5 所示。

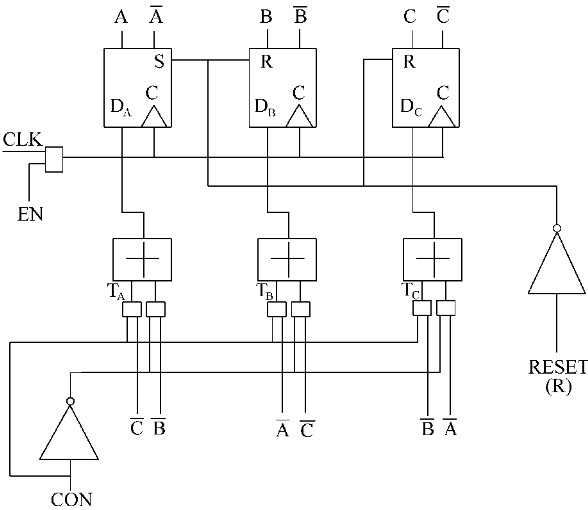


图 5-33　步进电动机环形分配器的逻辑电路

表 5-5　真值表

CON			1			0		
Z	EN	CLK	A	B	C	A	B	C
1	Φ	Φ	1	0	0	1	0	0
0	1	↑	1	0	1	1	1	0
0	1	↑	0	0	1	0	1	0
0	1	↑	0	1	1	0	1	1
0	1	↑	0	1	0	0	0	1
0	1	↑	1	1	0	1	0	1
0	1	↑	1	0	0	1	0	0

2）程序设计。程序设计采用组合逻辑设计法，由真值表可知：

当 CON＝0 时，输出 Q_A、Q_B、Q_C 的逻辑关系为

$$Q_A^n=\overline{Q_B^n}\quad Q_B^n=\overline{Q_C^n}\quad Q_C^n=\overline{Q_A^n}$$

当 CON＝1 时，输出 Q_A、Q_B、Q_C 的逻辑关系为

$$Q_A^n=\overline{Q_C^n}\quad Q_B^n=\overline{Q_A^n}\quad Q_C^n=\overline{Q_B^n}$$

当 CON＝0，正转时步进电动机 A、B、C 相线圈的通电相序为

A→AB→B→BC→C→CA→A……

当 CON＝1，反转时各相线圈通电相序为

A→AC→C→CB→B→BA→A……

Q_A、Q_B、Q_C 的状态转换条件为输入脉冲信号上升沿到来，状态由前一状态转为后一状态，所以在梯形图中引入了上升沿微分指令。

PLC 输入/输出元件地址分配如表 5-6 所示。

表 5-6　PLC 输入/输出元件地址分配

输入	代号	输出	代号
X0	CLK	Y0	Q_A
X1	EN	Y1	Q_B
X2	RESET	Y2	Q_c
X3	CON		

根据逻辑关系画出步进电动机环形分配器的梯形图，如图 5-34 所示。

梯形图工作原理简单分析如下：设初始状态为 RESET 有效。X2 常开触点闭合，Y0 输出为 1 状态，Y1、Y2 为 0 状态，RESET 无效后，上述三输出状态各自保持原状态。CON＝0（X3＝0），当 EN（X1＝1）有效，且有输入脉冲信号 CLK（X0）输入，CLK（X0）上升沿到来，M0 辅助继电器常开触点闭合一个扫描周期。在此期间，各输出继电器状态自保持失效，Y0 输出保持为 1 状态，Y1 输出由 0 变 1，Y2 输出状态为 0。一个扫描周期过后，M0 常开触点断开，常闭触点闭合，各输出继电器状态恢复自保持，等待下一个输入脉冲信号上升沿的到来。

2. PLC 程序的时序逻辑设计法

（1）概述

时序逻辑设计法适用于 PLC 各输出信号的状态变化有一定的时间顺序的场合，在程序设计时根据画出的各输出信号的时序图，理顺各状态转换的时刻和转换条件，找出输出与输入及内部触点的对应关系，并进行适当化简。一般来讲，时序逻辑设计法应与经验法配合使用，否则将可能使逻辑关系过于复杂。

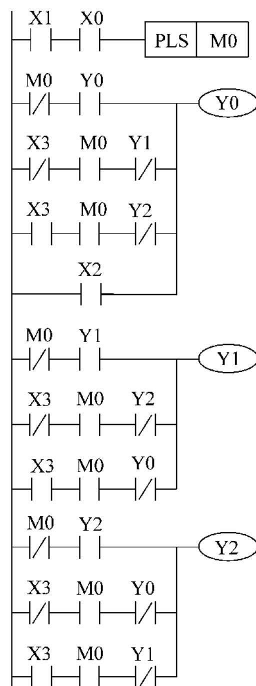


图 5-34　步进电动机环形分配器的梯形图

（2）时序逻辑设计法的编程步骤

1）根据控制要求，明确输入/输出信号个数。

2）明确各输入和各输出信号之间的时序关系，画出各输入和输出信号的工作时序图。

3）将时序图划分成若干个时间区段，找出区段间的分界点，弄清分界点处输出信号状态的转换关系和转换条件。

4）PLC 的 I/O、内部辅助继电器和定时器/计数器等进行分配。

5）列出输出信号的逻辑表达式，根据逻辑表达式画出梯形图。

6）通过模拟调试，检查程序是否符合控制要求，结合经验设计法进一步修改程序。

（3）时序逻辑设计举例

1）控制要求。有 A1 和 A2 两台电动机，按下起动按钮后，A1 运转 10min，停止 5min，A2 与 A1 相反，即 A1 停止时 A2 运行，A1 运行时 A2 停止，如此循环往复，直至按下停车按钮。

2）I/O 分配。X0 为起动按钮，X1 为停车按钮，Y0 为 A1 电动机接触器线圈，Y1 为 A2 电动机接触器线圈。

3）画时序图。为了使逻辑关系清晰，用中间继电器 M0 作为运行控制继电器，且用 T0 控制 A1 运行时间，T1 控制 A1 停车时间。根据要求画出时序图，如图 5-35 所示。由该图可以看出，T0 和 T1 组成闪烁电路，其逻辑关系表达式为

$$Y0 = M0 \cdot \overline{T0} \qquad Y1 = M0 \cdot \overline{Y0}$$

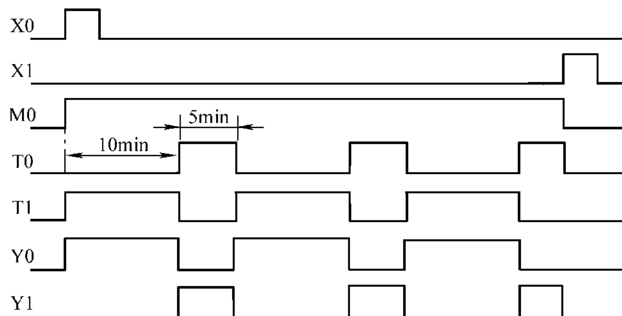


图 5-35　两台电动机顺序控制时序图

4）设计梯形图。结合逻辑关系画出的梯形图如图 5-36 所示。最后，还应分析一下所画梯形图是否符合控制要求。

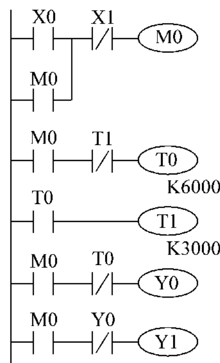


图 5-36　两台电动机顺序控制梯形图

5.3.4　PLC 程序的移植设计法

1. 概述

PLC 控制取代继电器控制已是大势所趋，如果用 PLC 改造继电器控制系统，根据原有的继电器电路图来设计梯形图显然是一条捷径。这是由于原有的继电器控制系统经过长期的使用和考验，已经被证明能完成系统要求的控制功能，而继电器电路图又与梯形图有很多相似之处，因此可以将继电器电路图经过适当的“翻译”，从而设计出具有相同功能的 PLC 梯形图程序，所以将这种设计方法称为“移植设计法”或“翻译法”。

在分析 PLC 控制系统的功能时，可以将 PLC 想象成一个继电器控制系统中的控制箱。PLC 外部接线图描述的是这个控制箱的外部接线，PLC 的梯形图程序是这个控制箱内部的“线路图”，PLC 输入继电器和输出继电器是这个控制箱与外部联系的“中间继电器”，这样就可以用分析继电器电路图的方法来分析 PLC 控制系统。

可以将输入继电器的触点想象成对应的外部输入设备的触点，将输出继电器的线圈想象成对应的外部输出设备的线圈。外部输出设备的线圈除了受 PLC 的控制外，可能还会受外部触点的控制。用上述思想就可以将继电器电路图转换为功能相同的 PLC 外部接线图和梯形图。

2. 移植设计法的编程步骤

（1）分析原有系统的工作原理

了解被控设备的工艺过程和机械的动作情况，根据继电器电路图分析和掌握控制系统的工作原理。

（2）PLC 的 I/O 分配

确定系统的输入设备和输出设备，进行 PLC 的 I/O 分配，画出 PLC 外部接线图。

（3）建立其他元器件的对应关系

确定继电器电路图中的中间继电器、时间继电器等各器件与 PLC 中的辅助继电器和定时器的对应关系。

以上（2）和（3）两步建立了继电器电路图中所有的元器件与 PLC 内部编程元件的对应关系，对于移植设计法而言，这非常重要。在这个过程中应该处理好以几个问题：

1）继电器电路中的执行元件应与 PLC 的输出继电器对应，如交直流接触器、电磁阀、电磁铁、指示灯等。

2）继电器电路中的主令电器应与 PLC 的输入继电器对应，如按钮、位置开关、选择开关等。热继电器的触点可作为 PLC 的输入，也可接在 PLC 外部电路中，主要是看 PLC 的输入点是否富余。注意处理好 PLC 内、外触点的常开和常闭的关系。

3）继电器电路中的中间继电器与 PLC 的辅助继电器对应。

4）继电器电路中的时间继电器与 PLC 的定时器或计数器对应，但要注意，时间继电器有通电延时型和断电延时型两种，而定时器只有“通电延时型”一种。

（4）设计梯形图程序

根据上述的对应关系，将继电器电路图“翻译”成对应的“准梯形图”，再根据梯形图的编程规则将“准梯形图”转换成结构合理的梯形图。对于复杂的控制电路可划整为零，先进行局部的转换，最后再综合起来。

（5）仔细校对、认真调试

对转换后的梯形图一定要仔细校对、认真调试，以保证其控制功能与原图相符。

3. 移植设计法设计示例

（1）卧式镗床继电器控制系统分析

图 5-37 所示为某卧式镗床继电器控制系统的电路图，包括主电路、控制电路、照明电路和指示电路。镗床的主轴电动机 M1 是双速异步电动机，中间继电器 KA1 和 KA2 控制主轴电动机的起动和停止，接触器 KM1 和 KM2 控制主轴电动机的正反转，接触器 KM4、KM5 和时间继电器 KT 控制主轴电动机的变速，接触器 KM3 用来短接串在定子回路的制动电阻。SQ1、SQ2 和 SQ3、SQ4 是变速操纵盘上的限位开关，SQ5 和 SQ6 是主轴进刀与工作台移动互锁限位开关，SQ7 和 SQ8 是镗头架和工作台的正、反向快速移动开关。

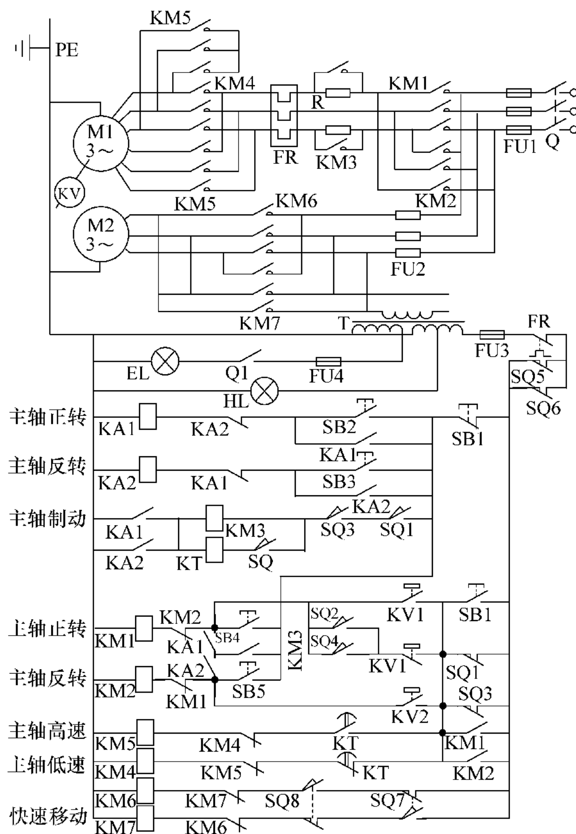


图 5-37 卧式镗床继电器控制系统的电路图

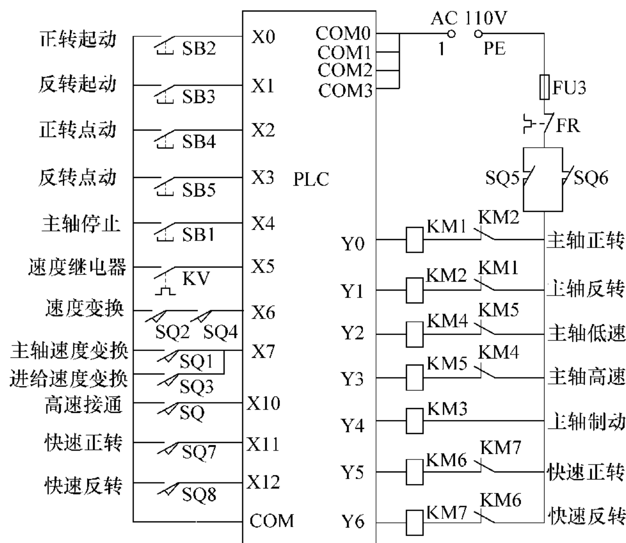


图 5-38　卧式镗床 PLC 控制系统 I/O 接线图

（2）画 PLC 外部接线图

改造后的 PLC 控制系统的外部接线图中，主电路、照明电路和指示电路同原电路不变，控制电路的功能由 PLC 实现。PLC 的 I/O 接线图如图 5-38 所示。

（3）设计梯形图

根据 PLC 的 I/O 对应关系，再加上原控制电路，如图 5-37 中 KA1、KA2 和 KT 分别与 PLC 内部的 M300、M301 和 T0 相对应，可设计出 PLC 的梯形图，如图 5-39 所示。

设计过程中应注意梯形图与继电器电路图的区别。梯形图是一种软件，是 PLC 图形化的程序，PLC 梯形图是串行工作的，而在继电器电路图中，各电器可以同时动作（并行工作）。

移植设计法主要是用来对原有机电控制系统进行改造，这种设计方法没有改变系统的外部特性，除了控制系统的可靠性提高之外，改造前后的系统没有什么区别，对于操作工人来说，他们不用改变长期形成的操作习惯。这种设计方法一般不需要改动控制面板及器件，因此可以减少硬件改造的费用和改造的工作量。

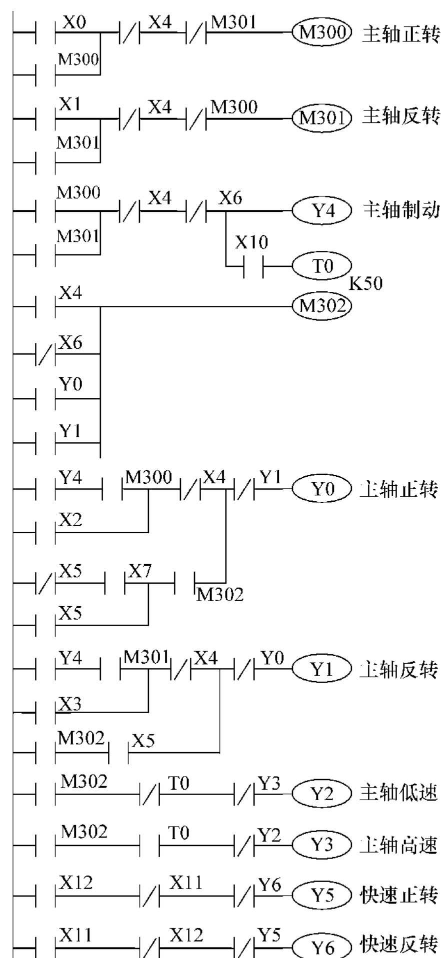


图 5-39　卧式镗床 PLC 控制系统的梯形图

5.4 PLC 的控制系统程序设计举例

5.4.1 程序设计项目举例一：十字路口交通信号灯控制

1. 十字路口交通信号灯控制设计内容和控制要求

十字路口交通信号灯受开关总体控制，按一下起动按钮，信号灯系统开始工作，并周而复始地循环动作；按一下停止按钮，所有信号灯熄灭。信号灯控制的具体要求如表 5-7 所示。

表 5-7 十字路口交通信号灯控制要求

东西	信号	绿灯亮	绿灯闪亮	黄灯亮	红灯亮		
	时间	25s	3s	2s	30s		
南北	信号	红灯亮			绿灯亮	绿灯闪亮	黄灯亮
	时间	30s			25s	3s	2s

2. 输入和输出点分配

输入和输出点分配如表 5-8 所示。

表 5-8 十字路口交通信号灯控制的 PLC 输入点和输出点分配

输入元件	输入点编号	输出元件	输出点编号
起动按钮 SB1	X000	东西绿灯 HL1	Y000
停止按钮 SB2	X001	东西黄灯 HL2	Y001
白天/黑夜开关 S	X002	东西红灯 HL3	Y002
		南北绿灯 HL4	Y004
		南北黄灯 HL5	Y005
		南北红灯 HL6	Y006

3. PLC 的 I/O 接线

根据信号控制要求和 I/O 口分配，其接线如图 5-40 所示。图中用一个输出点驱动两个信号灯，如果 PLC 输出点的电流不够，可以用一个输出点驱动一个信号灯，也可以在 PLC 输出端增设中间继电器，再通过中间继电器去驱动信号灯。

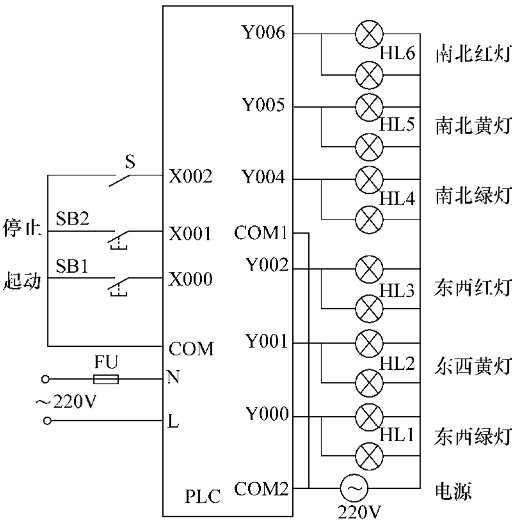


图 5-40 十字路口交通信号灯 PLC 接线图

4. 程序设计

（1）方法一：用基本逻辑指令编程

十字路口交通信号灯控制的时序图如图 5-41 所示。用基本逻辑指令设计的信号灯控制梯形图如图 5-42 所示。

图 5-41 中脉冲发生器产生周期为 1s

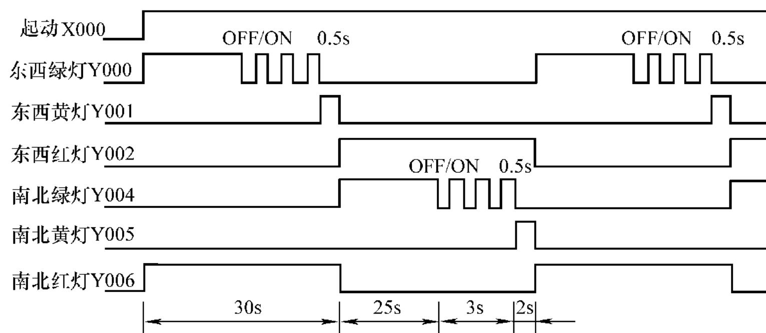


图 5-41　十字路口交通信号灯控制的时序图

（通 0.5s，断 0.5s）的方波脉冲，供信号等闪光控制用。

按照图 5-42 所示交通信号灯控制的梯形图，编写指令程序（见表 5-9）并写入 PLC 的 RAM 中，运行并调试程序。

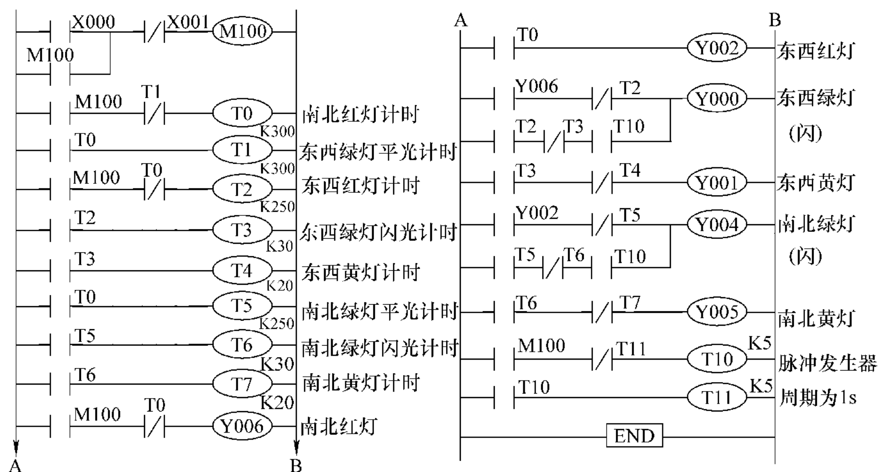


图 5-42 十字路口交通信号灯控制的梯形图

表 5-9　图 5-42 所示梯形图对应的指令程序表

指令程序			指令程序			指令程序			指令程序		
0	LD	X000	10	OUT	T1	22	LD	T3	34	LD	T6
1	OR	M100			K300	23	OUT	T4	35	OUT	T7
2	ANI	X001	13	LD	M100			K20			K20
3	OUT	M100	14	ANI	T0	26	LD	T3	38	LD	M100
4	LD	M100	15	OUT	T2	27	OUT	T5	39	ANI	T0
5	ANI	T1			K250			K250	40	OUT	Y006
6	OUT	T0	18	LD	T2	30	LD	T5	41	LD	T0
		K300	19	OUT	T3	31	OUT	T6	42	OUT	Y002
9	LD	T0			K30			K30	43	LD	Y006

（续）

指令程序			指令程序			指令程序			指令程序		
44	ANI	T2	51	ANI	T4	58	ORB		65	OUT	T10
45	LD	T2	52	OUT	Y001	59	OUT	Y004			K5
46	ANI	T3	53	LD	Y002	60	LD	T6	68	LD	T10
47	AND	T10	54	ANI	T5	61	ANI	T7	69	OUT	T11
48	ORB		55	LD	T5	62	OUT	Y005			K5
49	OUT	Y000	56	ANI	T6	63	LD	M100	72	END	
50	LD	T3	57	AND	T10	64	ANI	T11			

按起动按钮 SB1，信号系统起动，东西、南北两侧信号灯周期性地工作；按停止按钮 SB2，信号系统中止运行，所有信号灯熄灭。

（2）方法二：用顺序功能图编程

根据交通信号灯控制的时序图（见图 5-41），画出交通信号灯控制的顺序功能图如图 5-43所示。

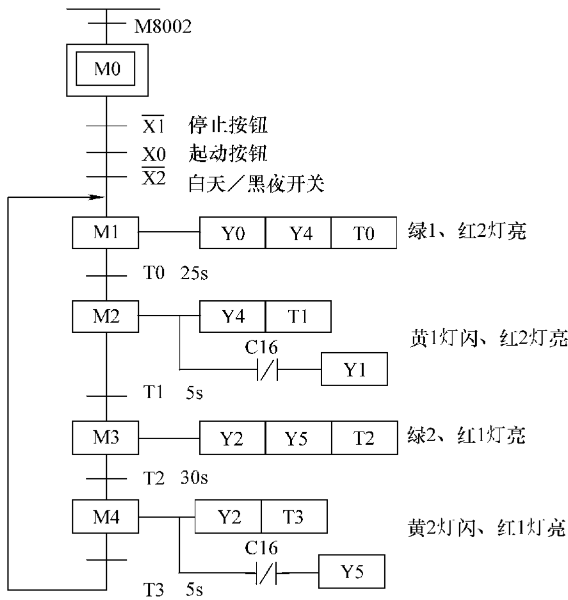


图 5-43　交通信号灯控制的顺序功能图

当 PLC 进入运行状态，M0 得电自锁。当白天/黑夜开关 S 断开，此时动断触点 X2 闭合，因停止按钮是断开的，X1 动断触点闭合，此时按下起动按钮，动合触点 X0 闭合，因此状态由 M0 转到 M1，Y0、Y4 得电，红 2、绿 1 灯亮。延时 25s 后，状态由 M1 转到 M2，红 2 灯亮、黄 1 灯闪（闪烁由图 5-43 中的 C16 实现）。又延时 5s 后，状态由 M2 转到 M3，红 1、绿 2 灯亮。延时 30s 后，状态由 M3 转到 M4，红 1 灯亮、黄 2 灯闪。又延时 5s 后，状态由 M4 转回到 M0，执行下一循环。

当白天/黑夜开关 S 闭合时，只有黄灯的闪烁，问题是这样解决的：M8012（PLC 内部

产生 100ms 时钟脉冲的特殊辅助继电器），其线圈由 PLC 自动驱动，即 PLC 通电后 M8002 保持 100ms 的周期振荡，利用其动合触点驱动计数器线圈 C16，当 C16 累计到 10 个脉冲时（1s 时间），计数器 C16 动作，C16 动合触点驱动时间继电器 T4，T4 定时 1s 后动作，T4 动合触点闭合将 C16 复位，其后周而复始，使 C16 线圈接通 1s 后又断开 1s，动断触点 C16 接到控制线圈 Y1 和 Y4 回路，使 Y1 和 Y5 时而接通 1s 时而断开 1s，从而产生了在白天/黑夜开关 S 闭合时黄灯闪烁的效果。其梯形图程序如图 5-44 所示。

当按下停止按钮，X1 闭合，其动断触点 X1 分别接到 Y0 ~ Y5 的线圈回路，使 Y0 ~ Y5 断电，所有灯灭。同时使程序从 M0 后不再执行。

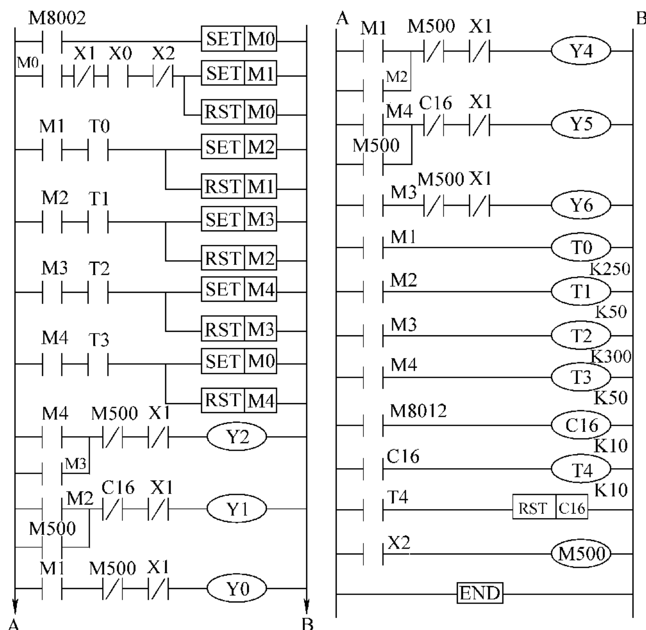


图 5-44　十字路口交通信号灯控制梯形图

5. 运行与调试程序

1）将梯形图程序输入到计算机。

2）按图 5-40 所示连接好 PLC 的输入与输出端，将 PLC 与计算机连接好。

3）对程序进行调试运行。将 S 闭合，按下起动按钮 SB1，观察 HL1 ~ HL6 的指示状态；将 S 打开，按下起动按钮 SB1，观察 HL1 ~ HL6 的指示状态。按下停止按钮，再观察 HL1 ~ HL6 的指示状态。

4）调试、运行并记录。

5.4.2　程序设计项目举例二：艺术彩灯控制

1. 艺术彩灯控制设计内容和控制要求

某艺术彩灯造型演示板如图 5-45 所示，其中 A、B、C、D、E、F、G、H 为八只彩灯，呈环形分布。控制要求如下：

将起动开关 S1 合上，八只灯泡同时亮，即 A、B、C、D、E、F、G、H 同时亮 1s；接

着八只灯泡按逆时针方向轮流各亮 1s，即 A 亮 1s→B 亮 1s→C 亮 1s→D 亮 1s→E 亮 ls→F 亮 1s→G 亮 1s→H 亮 1s；接下来八只灯泡又同时亮 1s，即 A、B、C、D、E、F、G、H 同时亮 1s；然后八只灯泡按顺时钟方向轮流亮 1s，即 H 亮 1s→G 亮 1s→F 亮 ls→E 亮 ls→D 亮 1s→C 亮 ls→B 亮 1s→A 亮 1s。然后按此顺序重复执行。按下停止开关 S2，所有灯灭。

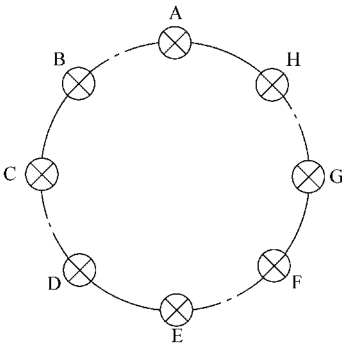


图 5-45　艺术彩灯造型演示板

2. 设计步骤及要求

1）输入和输出 I/O 点分配。艺术彩灯输入和输出点分配如表 5-10 所示。

表 5-10　艺术彩灯输入和输出点分配

输入信号			输出信号		
名称	代号	输入点编号	名称	代号	输出点编号
起动开关	S1	X0	黄灯	A	Y0
停止开关	S2	X1	绿灯	B	Y1
			红灯	C	Y2
			蓝灯	D	Y3
			黄灯	E	Y4
			绿灯	F	Y5
			红灯	G	Y6
			蓝灯	H	Y7

2）PLC 接线图。按图 5-46 将线接好。注意 COM1、COM2 相连接，因为采用相同的额定电压的指示灯。输入接起动开关 S1 和停止开关 S2。

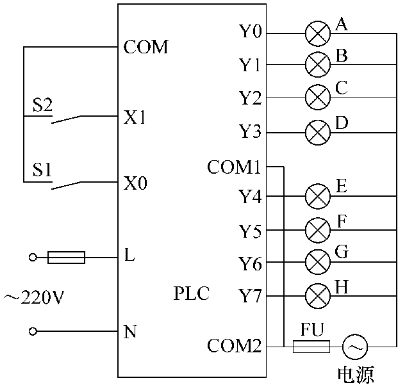


图 5-46　艺术彩灯 PLC 接线图

3）程序设计。艺术彩灯程序 PLC 梯形图如图 5-47 所示。PLC 运行时，程序 9 ~ 19 步中，M11 导通，由于程序 50 ~ 120 步中，M11 动合触点闭合，分别控制了 Y0 ~ Y7 的导通，因而彩灯 A、B、C、D、E、F、G、H 同时点亮，因 T0 延时 1s，故 A、B、C、D、E、F、G、H 同时点亮 1s。1s 时间到，程序第 40 步，T0 动合触点闭合，移位指令执行，实现轮流点亮，即 A、B、C、D、E、F、G、H 轮流点亮，因为 T0 闭合一次，故 A、B、C、D、E、F、G、H 轮流点亮的时间间隔为 1s。程序 20 ~ 29 步中，当 M20 通时，将 M101 置位，由 M101 动合触点与 M12 ~ M19 动合触点配合，分别轮流点亮 H ~ A，即 H、G、F、E、D、C、B、A 每隔 1s 轮流点亮。程序 30 ~ 39 步中，当 M20 通时，将 M101 复位，M101 动断触点与 M12 ~ M19 动合触点配合，分别串联点亮 A ~ H，即 A、B、C、D、E、F、

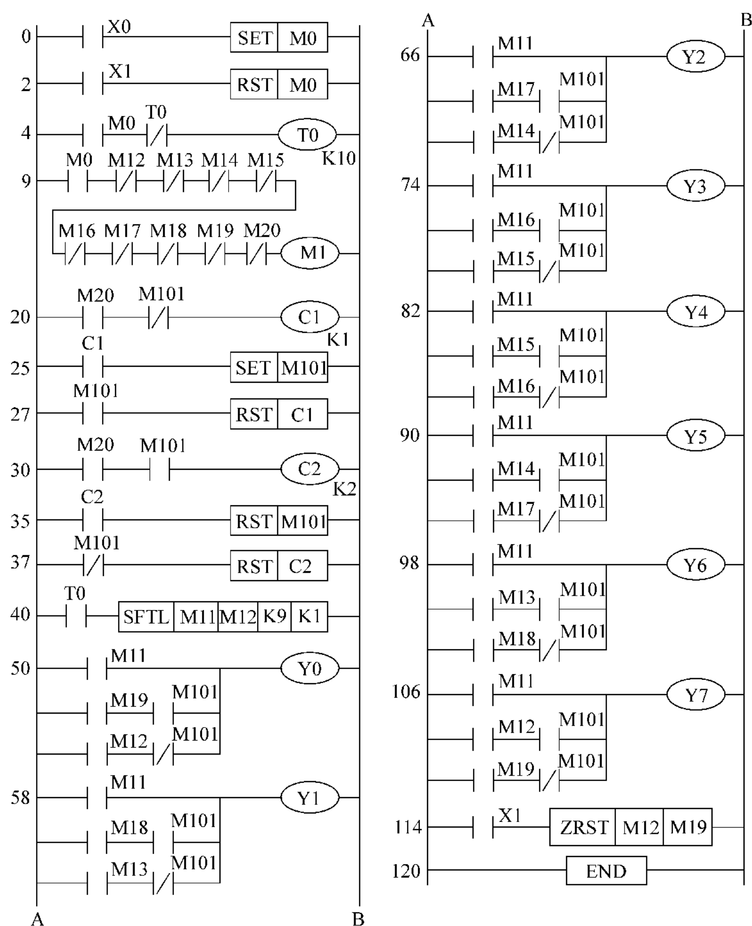


图 5-47　艺术彩灯 PLC 梯形图

G、H 每隔 1s 轮流点亮。任何时候将停止开关 S2 合上，程序 114 ~ 119 步，区间复位指令使 M12 ~ M19 全部复位，所有灯均不亮。

4）运行与调试程序。

① 将梯形图程序输入到计算机，检查接线正确无误。

② 对程序进行调试运行。

③ 接通 PLC 电源后，将 PLC 置运行状态，将 S1 闭合，观察 A、B、C、D、E、F、G、H 的亮显情况；将 S2 闭合，观察 A、B、C、D、E、F、G、H 的亮显情况。

5.4.3　程序设计项目举例三：送料车控制

1. 送料车控制设计内容和控制要求

某车间有 6 个工作台，送料车往返于工作台之间送料，如图 5-48 所示。每个工作台设有一个到位开关（SQ）和一个呼叫按钮（SB）。具体控制要求如下：

1）送料车应能停留在 6 个工作台中任意一个到位开关的位置上。

2）设送料车现停于 *m* 号工作台（SQ*m* 为 ON）处，这时 *n* 号工作台呼叫（SB*n* 为

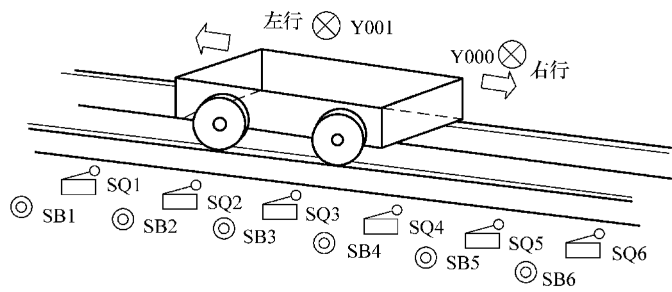


图 5-48　送料车控制

ON)，当 $m>n$ 时，送料车左行，直至 SQn 动作，到位停车（即送料车所停位置 SQ 的编号大于呼叫按钮 SB 的编号时，送料车往左运行至呼叫位置后停止)；当 $m<n$ 时，送料车右行，直至 SQn 动作，到位停车（即送料车所停位置 SQ 的编号小于呼叫按钮 SB 的编号时，送料车往右运行至呼叫位置后停止)；当 $m=n$ 时，送料车原位不动（即送料车所停位置 SQ 的编号与呼叫按钮 SB 的编号相同时，送料车不动)。

2. 设计步骤及要求

1）输入/输出（I/O）分配。送料车控制输入/输出点分配如表 5-11 所示。

表 5-11　送料车控制输入和输出点分配

输入元件	输入点编号	输出元件	输出点编号
起动按钮 SB0	X000	右行继电器 KM1	Y000
1 工作台呼叫 SB1	X001	左行继电器 KM2	Y001
2 工作台呼叫 SB2	X002		
3 工作台呼叫 SB3	X003		
4 工作台呼叫 SB4	X004		
5 工作台呼叫 SB5	X005		
6 工作台呼叫 SB6	X006		
停止按钮 SB7	X007		
到位开关 1 SQ1	X011		
到位开关 2 SQ2	X012		
到位开关 3 SQ3	X013		
到位开关 4 SQ4	X014		
到位开关 5 SQ5	X015		
到位开关 6 SQ6	X016		

2）PLC 接线图。送料车的 PLC 输入/输出端口分配和接线如图 5-49 所示。

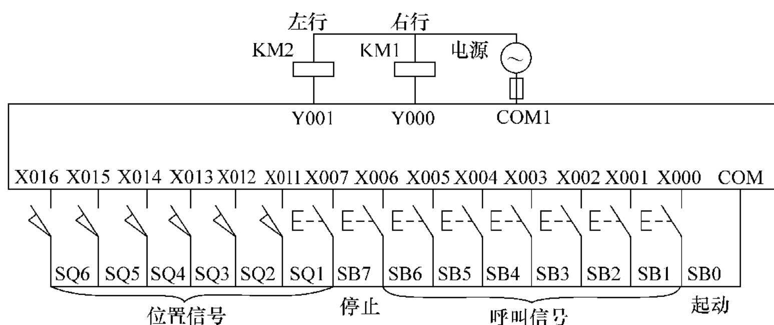


图 5-49　PLC 输入/输出分配及接线图

3）程序设计。用功能指令实现送料车控制的梯形图如图 5-50 所示。图中将送料车的当前位置送到数据寄存器 D0 中，将呼叫工作台号送到数据寄存器 D1 中，然后通过 D0 与 D1 中数据的比较，决定送料车的运行方向和到达目标的位置。

按照图 5-50，编写指令程序，如表 5-12 所示，并写入 PLC 的 RAM 中，运行并调试程序。

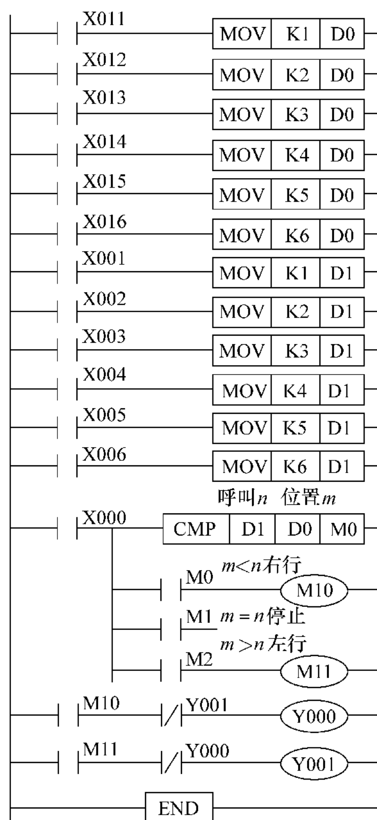


图 5-50　用功能指令实现送料车控制的梯形图

表 5-12　图 5-50 所示梯形图对应的指令程序表

指令程序			指令程序			指令程序			指令程序		
0	LD	X011	25	MOV				K3			D1
1	MOV				K5			D1			D0
		K1			D0	54	LD	X004			M0
		D0	30	LD	X016	55	MOV		81	MRD	
6	LD	X012	31	MOV				K4	82	AND	M0
7	MOV				K6			D1	83	OUT	M10
		K2			D0	60	LD	X005	84	MPP	
		D0	36	LD	X001	61	MOV		85	AND	M2
12	LD	X013	37	MOV				K5	86	OUT	M11
13	MOV				K1			D1	87	LD	M10
		K3			D1	66	LD	X006	88	ANI	Y001
		D0	42	LD	X002	67	MOV		89	OUT	Y000
18	LD	X014	43	MOV				K6	90	LD	M11
19	MOV				K2			D1	91	ANI	Y000
		K4			D1	72	LD	X000	92	OUT	Y001
		D0	48	LD	X003	73	MPS		93	END	
24	LD	X015	49	MOV		74	CMP				

第 6 章　手持编程器和编程软件

不同厂家的 PLC 有不同类型的编程软件和编程工具。三菱公司有 FXGP/WIN 和 GX Developer 等。常用的编程工具有手持编程器和专用图形编程器。本章应重点掌握三菱公司针对 FX 系列 PLC 开发的编程软件 FXGP/WIN 和 GX Developer 的系统菜单功能及其构成，以及建立程序、验证程序的过程和程序下载/上传的主要操作步骤，还应熟悉手持编程器的组成、操作面板功能键及其操作过程。

6.1　手持编程器的组成及其使用

三菱公司的手持编程器有多种，FX－20P－E 简易编程器（Handy Programming Panel，简称 HPP）适用于 FX 系列 PLC，也可以通过转换器 FX－20P－E－FKIT 用于 F 系列 PLC。FX－20P－E 编程器是比较常用的一种。

1. 手持编程器的组成和操作面板

（1）手持编程器的组成

FX－20P－E 手持编程器由液晶显示屏（16 字符 ×4 行）、ROM 写入器模块的接口、存储器卡盒接口及功能键、指令键、元件符号键、数字键等 5 ×7 键盘组成。

FX－20P－E 手持编程器配有专用电缆 FX－20P－CAB 与 PLC 主机相连。系统存储卡盒用于存放系统软件。其他如 ROM 写入器模块、PLC 存储器卡盒等为选用件。

（2）手持编程器的操作面板

手持编程器 FX－20P－E 的操作面板键盘如图 6-1 所示。

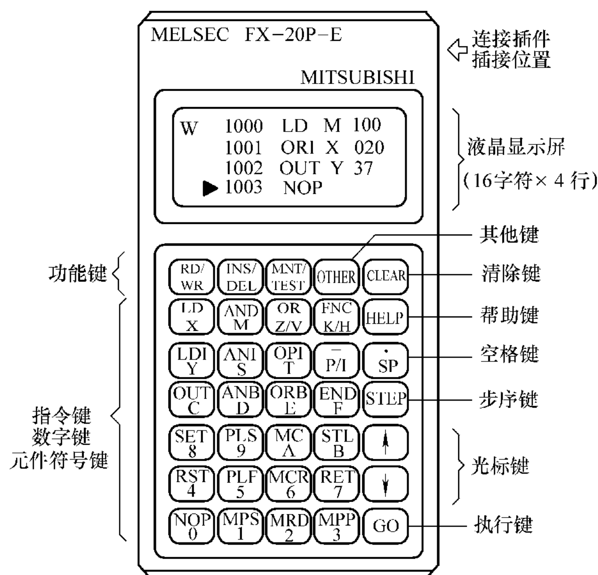


图 6-1　手持编程器的操作面板

编程器上各键的作用如下：

1）功能键。读出/写入功能键（RD/WR）、插入/删除功能键（INS/DEL）、监视/测试功能键（MNT/TEST）。各个功能键选择的功能轮流起作用：按第一次时选择第一个功能，再按一次选择第二个功能。

2）其他键（OTHER）。在任何状态下按该键则显示方式菜单。

3）清除键（CLEAR）。用于清除显示屏上的出错信息或恢复原来的画面。如在按执行键（GO）前按此键清除输入的数据。

4）帮助键（HELP）。显示应用指令一览表。在监控时进行十进制和十六进制数的转换。

5）空格键（SP）。输入时用此键设定元件号和常数。

6）步序键（STEP）。用于设定步序号。

7）光标键（↑）、（↓）。用于移动光标和提示符，指定当前元件的前一个或后一个元件。

8）执行键（GO）。用于指令的确认、执行、显示后面的画面和再搜索。

9）指令、元件符号、数字键。上部为指令，下部为元件符号或数字。上、下部的功能是根据当前所执行的操作自动进行切换；下部的元件符号（Z/V）、（K/H）、（P/I）交替起作用。

（3）FX－20P－E 手持编程器的液晶显示屏

FX－20P－E 手持编程器的液晶显示屏能同时显示 4 行，每行 16 个字符，在操作时，显示屏上显示的画面如图 6-2 所示。

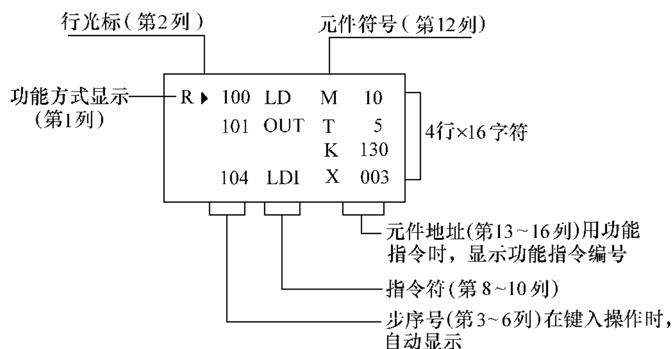


图 6-2　液晶显示屏上显示的画面

液晶显示屏的左上角的黑三角提示符是功能方式说明，介绍如下：R（Read）为读出，W（Write）为写入，I（Insert）为插入，D（Delete）为删除，M（Monitor）为监视，T（Test）为测试。

2. FX－20P－E 手持编程器工作方式选择

FX－20P－E 手持编程器具有在线（ONLINE，或称联机）编程和离线（OFFLINE，或称脱机）编程两种方式。在线编程时编程器与 PLC 直接相连，编程器直接对 PLC 用户程序存储器进行读写操作。若 PLC 内装有 EEPROM 卡盒，程序写入该卡盒，若没有 EEPROM 卡盒，程序写入 PLC 内的 RAM 中。在离线编程时，编制的程序首先写入编程器内的 RAM 中，

以后再成批传入 PLC 的存储器。

FX－20P－E 手持编程器上电后，其液晶显示屏上显示的内容如图 6-3 所示。

其中闪烁的符号“■”指明编程器当前所处的工作方式。用“↑”或“↓”键将“■”移动到选中的方式上，然后按 GO 键，就进入所选定的编程方式。

在联机方式下，用户可用编程器直接对 PLC 的用户程序存储器进行读/写操作，在执行写操作时，若 PLC 内没有安装 EEPROM 存储器卡盒，程序写入 PLC 的 RAM 存储器内；反之则写入 EEPROM 中，此时，EEPROM 存储器的写保护开关必须处于 OFF 位置。只有用 FX－20P－RWM型 ROM 写入器才能将用户程序写入 EPROM。

按 OTHER 键，进入工作方式选择的操作。此时，液晶显示屏显示的内容如图 6-4 所示。

PROGRAM	MODE
■ONLINE	(PC)
OFFLINE	(HPP)

图 6-3　液晶显示屏上显示的内容

ONLINE　MODE	FX
■1. OFFLINE	MODE
2. PROGRAM	CHECK
3. DATA	TRANSFER

图 6-4　工作方式选择

闪烁的符号“■”表示编程器所选择的工作方式，按“↑”或“↓”键，将“■”上移或下移到所需的位置，再按 GO 键，就进入选定的工作方式。在联机编程方式下，可供选择的工作方式共有七种，分别是：

1）OFFLINE MODE（脱机方式）：进入脱机编程方式。

2）PROGRAM CHECK：程序检查，若无错误，则显示 NO ERROR；若有错误，则显示出错误指令的步序号及出错代码。

3）DATA TRANSFER：数据传送，若 PLC 内安装有存储器卡盒，在 PLC 的 RAM 和外装的存储器之间进行程序和参数的传送。反之则显示 NO MEM CASSETTE（没有存储器卡盒），不进行传送。

4）PARAMETER：对 PLC 的用户程序存储器容量进行设置，还可以对各种具有断电保持功能的编程元件的范围和文件寄存器的数量进行设置。

5）XYM. . NO. CONV.：修改 X、Y、M 的元件号。

6）BUZZER LEVEL：蜂鸣器的音量调节。

7）LATCH CLEAR：复位有断电保持功能的编程元件。

对文件寄存器的复位与它使用的存储器类别有关，只能对 RAM 和写保护开关处于 OFF 位置的 EEPROM 中的文件寄存器复位。

在写入程序之前，一般需要将存储器中的原有内容全部清除，先按 RD/WR 键，使 HPP 处于 W（写）工作方式，接着按以下顺序操作：NOP→A→GO→GO。

3. 指令的读出

（1）根据步序号读出

基本操作如图 6-5 所示。先按 RD/WR 键，使编程器处于 R（读）工作方式，如果需读出步序号为 100 的指令，按图 6-5 所示顺序操作，该步指令就显示在屏幕上。

若还需要显示该指令之前或之后的其他命令，可以按“↑”、“↓”或 GO 键。按

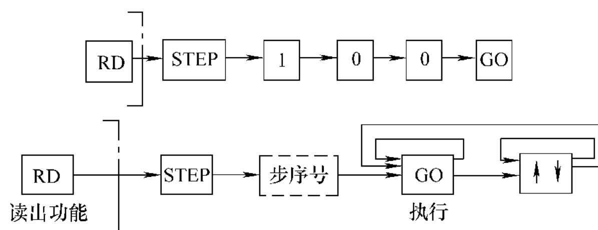


图 6-5　根据步序号读出的基本操作

“↑”、“↓”键可显示上一条或下一条指令，按 GO 键可以显示下面四条指令。

（2）根据指令读出

基本操作如图 6-6 所示。先按 RD/WR 键，使编程器处于 R（读）工作方式，然后根据图 6-6 所示的操作步骤依次按相应的键，该指令就显示在屏幕上。

例如，指定指令 LD X0，从 PLC 中读出该指令。

按 RD/WR 键，使编程器处于 R（读）工作方式，然后按图 6-6 所示步骤操作。

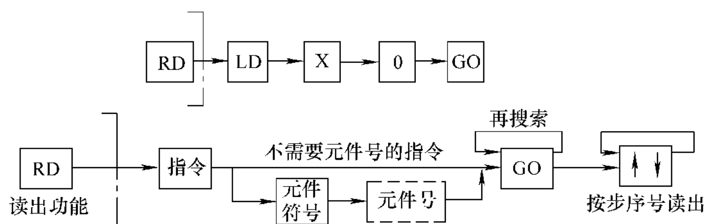


图 6-6　根据指令读出的基本操作

按 GO 键后屏幕上显示出指定的指令和步序号。再按 GO 键，屏幕上显示下一条相同的指令和步序号。如果用户程序中没有该指令，在屏幕的最后一行显示 NOT FOUND。按“↑”或“↓”键可读出上一条或下一条指令。按 CLEAR 键，屏幕上显示原来的内容。

（3）根据元件读出

先按 RD/WR 键，使编程器处于 R（读）工作方式。在 R（读）工作方式下读出含有 X0 指令的基本操作如图 6-7 所示。

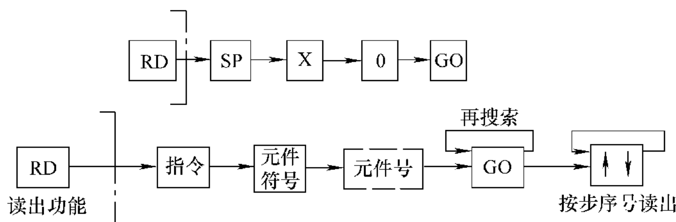


图 6-7　根据元件读出的基本操作

（4）根据指针读出

在 R（读）工作方式下读出 10 号指针的基本操作如图 6-8 所示。

屏幕上将显示指针 P10 及其步序号。读出中断程序用的指针时，应连续按两次 P/I 键。

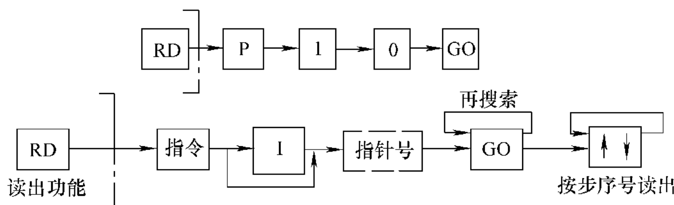


图 6-8　根据指针读出的基本操作

4. 指令的写入

按 RD/WR 键，使编程器处于写（W）工作方式，然后根据该指令所在的步序号，按 STEP 键后键入相应的步序号，接着按 GO 键，使“▶”移动到指定的步序号，此时，可以开始写入指令。如果需要修改刚写入的指令，在未按 GO 键之前，按下 CLEAR 键，刚键入的操作码或操作数被清除。按了 GO 键之后，可按“↑”键，回到刚写入的指令，再做修改。

（1）基本指令的写入

写入 LD X0 时，先使编程器处于写（W）工作方式，将光标“▶”移动到指定的步序号位置，然后按图 6-9 所示按键操作。

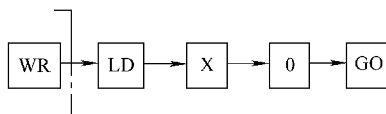


图 6-9　基本指令写入操作

写入 LDP、ANP、ORP 指令时，在按指令键后还要按 P/I 键。写入 LDF、ANF、ORF 指令时，在按指令键后还要按 F 键。写入 INV 指令时，按 NOP、P/I 和 GO 键。

（2）应用指令的写入

基本操作如图 6-10 所示。按 RD/WR 键，使编程器处于写（W）工作方式，将光标“▶”移动到指定的步序号位置，然后按 FNC 键，接着按该应用指令的指令代码对应的数字键，然后按 SP 键，再按相应的操作数。如果操作数不止一个，每次键入操作数之前，先按一下 SP 键，键入所有的操作数后，再按 GO 键，该指令就被写入 PLC 的存储器内。如果操作数为双字，按 FNC 键后，再按 D 键；如果是脉冲执行方式，在键入编程代码的数字键后，再按 P 键。

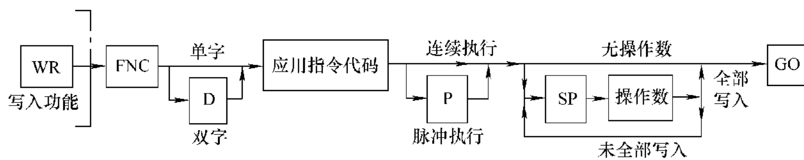


图 6-10　应用指令写入基本操作

例如，写入数据传送指令 MOV D0 D4

MOV 指令的应用指令编号为 12，写入操作步骤如图 6-11 所示。

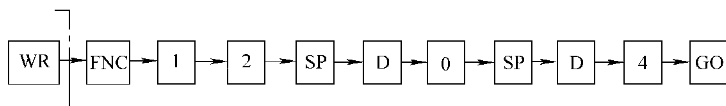


图 6-11　应用指令写入操作实例（1）

例如，写入数据传送指令（D）MOV （P）D0　D4

操作步骤如图 6-12 所示。

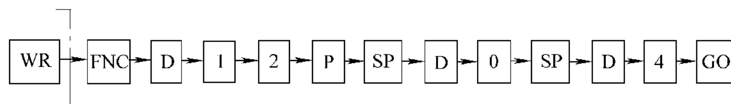


图 6-12　应用指令写入操作实例（2）

（3）指针的写入

指针写入的基本操作如图 6-13 所示。如写入中断用的指针，应连续按两次 P/I 键。

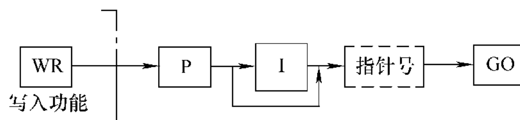


图 6-13　指针写入基本操作

（4）指令的修改

在指定的步序上改写指令。例如，在 100 步上写入指令 OUT T50 K123。

根据步序号读出原指令后，按 RD/WR 键，使编程器处于写（W）工作方式，然后按图 6-14 所示操作步骤按键。

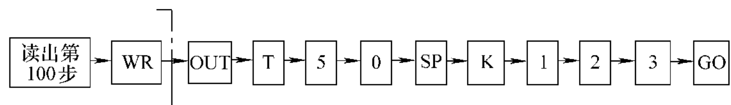


图 6-14　指令修改操作实例

如果要修改应用指令中的操作数，读出该指令后，将光标“▶”移到要修改的操作数所在的行，然后修改该行的参数。

5. 指令的插入

如果需要在某条指令之前插入一条指令，按照前述指令读出的方法，先将某条指令显示在屏幕上，令光标“▶”指向该指令。然后按 INS/DEL 键，使编程器处于 I（插入）工作方式，再按照指令写入的方法，将该指令写入，按 GO 键后写入的指令插在原指令之前，后面的指令依次向后推移。

例如，在 200 步之前插入指令 AND M5，在插入（I）工作方式下首先读出 200 步的指令，然后按图 6-15 所示操作步骤按键。

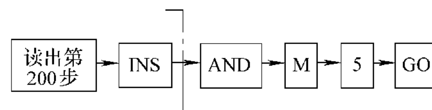


图 6-15　指令的插入操作实例

6. 指令的删除

（1）逐条指令删除

如果需要将某条指令或某个指针删除，按照指令读出的方法，先将该指令或指针显示在屏幕上，令光标“▶”指向该指令。然后按 INS/DEL 键，使编程器处于 D（删除）工作方

式，再按 GO 键，该指令或指针即被删除。

（2）指定范围指令删除

按 INS/DEL 键，使编程器处于 D（删除）工作方式，然后按图 6-16 所示操作步骤按键，该范围的指令即被删除。

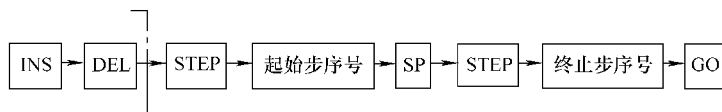


图 6-16　指定范围指令的删除基本操作

（3）NOP 指令的成批删除

按 INS/DEL 键，使编程器处于 D（删除）工作方式，依次按 NOP 和 GO 键，执行完毕后，用户程序中间的 NOP 指令即被全部删除。

7. 对 PLC 编程元件与基本指令通/断状态的监视

监视功能是通过编程器的显示屏监视和确认在联机工作方式下 PLC 的动作和控制状态。它包括对位元件的监视、通/断检查和动作状态的监视等内容。

（1）对位元件的监视

基本操作如图 6-17 所示。由于 FX2N、FX2NC 有 16 个变址寄存器 Z0 ~ Z7 和 V0 ~ V7，因此如果采用 FX2N、FX2NC 系列 PLC 应给出变址寄存器的元件号。以监视辅助继电器 M153 的状态为例，先按 MNT/TEST 键，使编程器处于 M（监视）工作方式，然后按图 6-17 所示步骤按键。

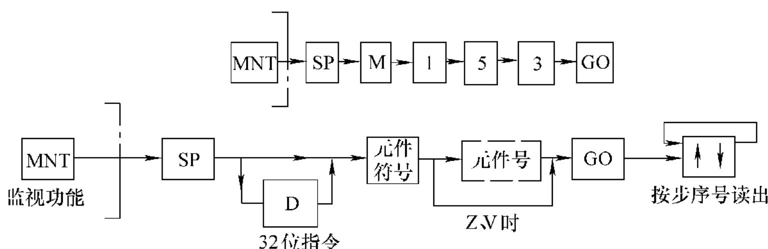


图 6-17　位元件监视的基本操作

屏幕上就会出现 M153 的状态，如图 6-18 所示。如果在编程元件的左侧有字符“■”，表示该编程元件处于 ON 状态；否则，表示它处于 OFF 状态，最多可以监视 8 个元件。按“↑”或“↓”键，可以监视前面或后面元件的状态。

M ■M	153	Y	10
S	1	■X	3
X	4	S	5
▶X	6	X	7

图 6-18　位编程元件的监视

（2）监视 16 位字元件（D、Z、V）内的数据

以监视数据寄存器 D0 内的数据为例，首先按 MNT/TEST 键，使编程器处于 M（监视）工作方式，按图 6-19 所示操作步骤按键。

屏幕上就会显示出数据寄存器 D0 内的数据。再按功能键“↓”，依次显示 D1、D2、D3 内的数据。此时显示的数据均以十进制数表示。若要以十六进制数表示，可按功能键

HELP，重复按功能键 HELP，显示的数据在十进制数和十六进制数之间切换。

（3）监视 32 位字元件（D、Z、V）内的数据

以监视数据寄存器 D0 和 D1 组成的 32 位数据寄存器内的数据为例，首先按 MNT/TEST 键，使编程器处于 M（监视）工作方式，按图 6-20 所示操作步骤按键。

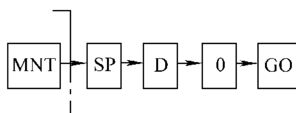


图 6-19　16 位字元件监视的操作

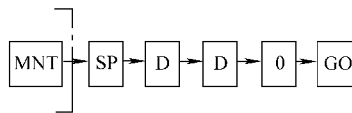


图 6-20　32 位字元件监视的操作

屏幕上就会显示出由 D0 和 D1 组成的 32 位数据寄存器内的数据，如图 6-21 所示。若要以十六进制数表示，可用功能键 HELP 来切换。

（4）对定时器和 16 位计数器的监视

以监视计数器 C99 的运行情况为例，首先按 MNT/TEST 键，使编程器处于 M（监视）工作方式，按图 6-22 所示操作步骤按键。

M	D	1	D	0
		K		345732
	▸D	121	D	120
		K		87437321

图 6-21　32 位字元件的监视

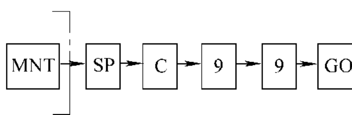


图 6-22　16 位计数器监视的操作

屏幕上显示的内容如图 6-23 所示。图中显示的数据 K20 是 C99 的当前计数值，第 4 行末尾显示的数据 K100 是 C99 的设定值。第 4 行中的字母 P 表示 C99 输出触点的状态，当其右侧显示“■”时，表示其常开触点闭合；反之则表示常开触点断开。第 4 行的 R 字母表示 C99 复位电路的状态，当其右侧显示“■”时，表示其复位电路闭合，复位为 ON 状态；反之则表示其复位电路断开，复位为 OFF 状态。非积算定时器没有复位输入，图 6-23 中 T100 的 R 未用。

（5）对 32 位计数器的监视

以监视 32 位计数器 C200 的运行情况为例，首先按 MNT/TEST 键，使编程器处于 M（监视）工作方式，按图 6-24 所示操作步骤按键。

M	T	100	K	100
	P	R	K	250
	▸C	99	K	20
	P■	R	K	100

图 6-23　定时器的监视

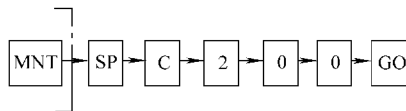


图 6-24　32 位计数器监视的操作

M ▸C	200		P　R　U■
		K	1234568
		K	2345678

图 6-25　32 位计数器监视

屏幕上显示的内容如图 6-25 所示。P 和 R 的含义与图 6-23 中的相同，U 的右侧显示“■”时，表示其计数方式为递增，反之为递减计数方式。第 2 行显示的数据为当前计数值，第 3 行和第 4 行显示设定值，如果设定值为常数，

直接显示在屏幕的第 3 行上；如果设定值存放在某位数据寄存器内，第 3 行显示该数据寄存器的元件号，第 4 行才显示其设定值。按功能键 HELP，显示的数据在十进制数和十六进制数之间切换。

（6）通/断检查

在监视状态下，根据步序号或指令读出程序，可监视指令中元件触点通/断和线圈动作状态。其基本操作如图 6-26 所示。

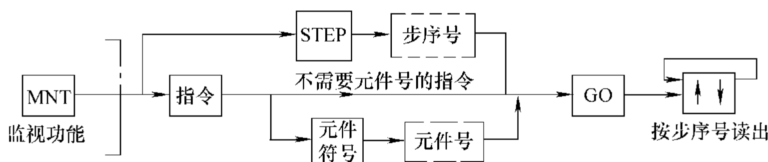


图 6-26　通/断检查基本操作

例如，读出第 126 步，在 M（监视）工作方式下，做通/断检查。按图 6-27 所示操作步骤按键。

屏幕上显示的内容如图 6-28 所示，读出以指定步序号为首的 4 行指令，根据各行是否显示“■”，可以判断触点和线圈的状态。若元件符号左侧显示“■”，表示该行指令对应的触点接通，对应的线圈“通电”；若元件符号左侧显示空格，表示该行指令对应的触点断开，对应的线圈“断电”。但是对于定时器和计数器来说，若 OUT T 或 OUT C 指令所在的行显示“■”，仅表示定时器或计数器分别处于定时或计数工作状态，其线圈“通电”，并不表示其输出常开触点接通。

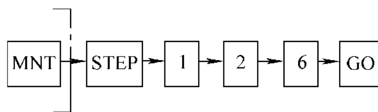


图 6-27　通/断检查操作实例

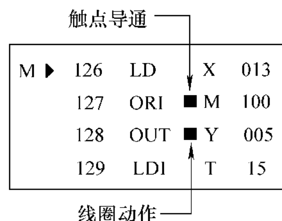


图 6-28　通/断检查

（7）状态继电器的监视

用指令或编程元件的测试功能使 M8047（STL 监视有效）为 ON，首先按 MNT/TEST 键，使编程器处于 M（监视）工作方式，再按 STL 键和 GO 键，可以监视最多 8 点为 ON 的状态继电器（S），它们按元件号从大到小的顺序排列。

8. 对编程元件的测试

测试功能是由编程器对 PLC 位元件的触点和线圈进行强制 ON/OFF 以及常数的修改。它包括强制 ON/OFF，修改 T、C、D、V、Z 的当前值，文件寄存器的写入等内容。

（1）位编程元件强制 ON/OFF

进行元件的强制 ON/OFF 的监控，先进行元件的监视，然后进行测试功能。基本操作如图 6-29 所示。

例如，对 Y100 进行 ON/OFF 强制操作的键操作如图 6-30 所示。

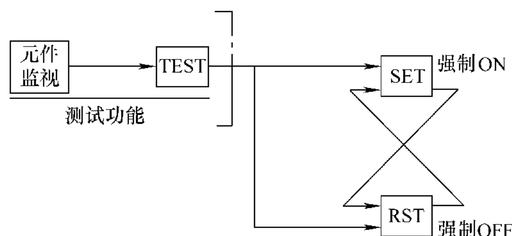


图 6-29　强制 ON/OFF 的基本操作

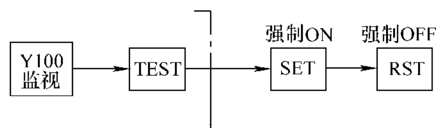


图 6-30　Y100 强制 ON/OFF 键操作

首先利用监视功能对 Y100 元件进行监视。按 TEST（测试）键，若此时被监控元件 Y100 为 OFF 状态，则按 SET 键，强制 Y100 元件处于 ON 状态；若此时 Y100 元件为 ON 状态，则按 RST 键，强制 Y100 元件处于 OFF 状态。

强制 ON/OFF 操作只在一个运算周期内有效。

（2）修改 T、C、D、Z、V 的当前值

在 M（监视）工作方式下，按照监视字编程元件的操作步骤，显示出需要修改的字编程元件，再按 MNT/TEST 键，使编程器处于 T（测试）工作方式，修改 T、C、D、Z、V 的当前值的基本操作如图 6-31 所示。

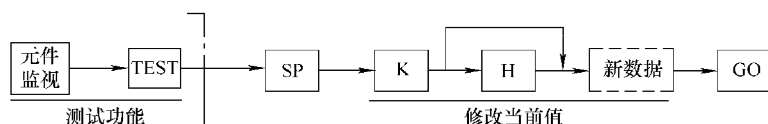


图 6-31　修改字元件数据的基本操作

将定时器 T5 的当前值修改为 K20 的操作如图 6-32 所示。

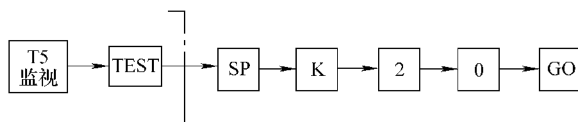


图 6-32　修改 T5 当前值的操作

常数 K 为十进制数设定，H 为十六进制数设定，输入十六进制数时连续按两次 K/H 键。

（3）修改 T、C 设定值

首先按 MNT/TEST 键，使编程器处于 M（监视）工作方式，然后按照前述监视定时器和计数器的操作步骤，显示出待监视的定时器和计数器后，再按 MNT/TEST 键，使编程器处于 T（测试）工作方式。修改 T、C 设定值的基本操作如图 6-33 所示。

第一次按 SP 键后，提示符“▶”出现在当前值前面，这时可以修改其当前值；第二次按 SP 后，提示符“▶”出现在设定值前面，这时可以修改其设定值；键入新的设定值后按 GO 键，设定值修改完毕。

将 T7 存放设定值的数据寄存器的元件号修改为 D22 的操作如图 6-34 所示。

另一种修改方法是先对 OUT T7 指令做通/断检查，然后按功能键“↓”使“▶”指向设定值所在行，再按 MNT/TEST 键，使编程器处于 T（测试）工作方式，键入新的设定值，

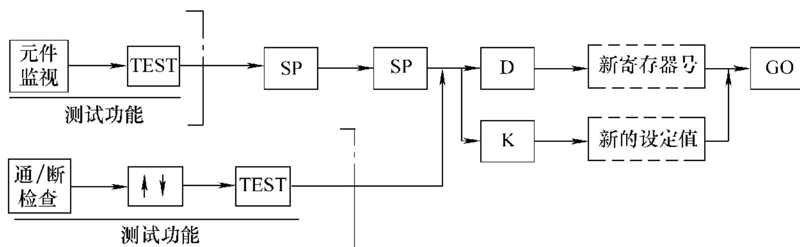


图 6-33　修改 T、C 设定值的基本操作

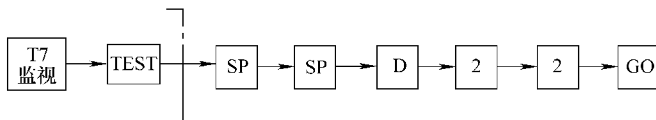


图 6-34　修改 T7 设定值的操作

最后按 GO 键，便完成了设定值的修改。

将 100 步的 OUT T5 指令的设定值修改为 K25 的操作如图 6-35 所示。

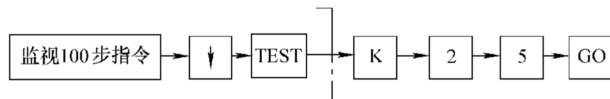


图 6-35　修改 T5 设定值的操作

9. 脱机（OFFLINE）编程方式

（1）脱机编程

脱机方式编制的程序存放在手持编程器内部的 RAM 中，联机方式编制的程序存放在 PLC 内的 RAM 中，编程器内部 RAM 中的程序不变。编程器内部 RAM 中写入的程序可成批地传送到 PLC 内部 RAM，也可成批地传送到装在 PLC 上的存储器卡盒。往 ROM 写入器的传送在脱机方式下进行。

手持编程器内 RAM 的程序用超级电容器做断电保护，充电 1h，可保持 3 天以上。因此，可将在实验室里脱机生成的装在编程器 RAM 内的程序传送给安装在现场的 PLC。

（2）进入脱机编程方式的方法

有两种方法可以进入脱机编程方式：

1）FX－20P－E 型手持编程器上电后，按“↓”键，将闪烁的符号“■”移动到 OFFLINE 位置上，然后按 GO 键，就进入脱机编程方式。

2）FX－20P－E 型手持编程器处于联机编程方式时，按功能键 OTHER，进入工作方式选择，此时，闪烁的符号“■”处于 OFFLINE MODE 位置上，接着按 GO 键，就进入脱机编程方式。

（3）工作方式

FX－20P－E 型手持编程器处于脱机编程方式时，所编制的用户程序存入编程器内的 RAM 中，与 PLC 内部的用户程序存储器和 PLC 的运行方式都没有关系。除了联机编程方式

中的 M 和 T 两种工作方式不能使用外，其余的工作方式（R、W、I、D）及操作步骤均适用于脱机编程。按 OTHER 键后，即进入工作方式选择操作。此时，液晶屏幕显示的内容如图 6-36 所示。

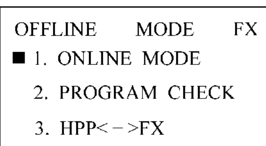


图 6-36　屏幕显示

在脱机编程方式，可用光标键选择 PLC 的型号，如图 6-37 所示。FX2N、FX2NC、FX1N 和 FX1S 之外的其他系列 PLC 应选择“FX，FX0”。选择后按 GO 键，出现图 6-38 所示的确认画面，如果使用的 PLC 的型号有变化，按 GO 键。要复位参数或返回起始状态时按 CLEAR 键。

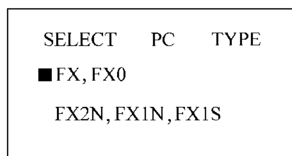


图 6-37　选择 PLC 的型号

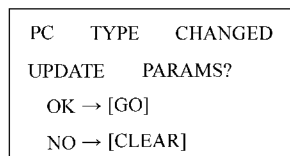


图 6-38　确认画面

在脱机编程方式下，可供选择的工作方式共有 7 种，它们依次是：

① ONLINE MODE；

② PROGRAM CHECK；

③ HPP < - > FX；

④ PARAMETER；

⑤ XYM. . NO. CONV. ；

⑥ BUZZER LEVEL；

⑦ MODULE。

选择 ONLINE MODE 时，编程器进入联机编程方式。PROGRAM CHECK、PARAMETER、XYM. . NO. CONV. 和 BUZZER LEVEL 的操作与联机编程方式下的相同。

（4）程序传送

选择 HPP < - > FX 时，若 PLC 内没有安装存储器卡盒，屏幕显示的内容如图 6-39 所示。按功能键“↑”或“↓”将“■”移到需要的位置上，再按功能键 GO，就执行相应的操作。其中“→”表示将编程器的 RAM 中的用户程序传送到 PLC 内的用户程序存储器中去，这时，PLC 必须处于 STOP 状态。“←”表示将 PLC 内存储器中的用户程序读入编程器内的 RAM 中，“：”表示将编程器内 RAM 中的用户程序与 PLC 的存储器中的用户程序进行比较，PLC 处于 STOP 或 RUN 状态都可以进行后两种操作。

若 PLC 内安装了 RAM、EEPROM 或 EPROM 扩展存储器卡盒，屏幕显示的内容类似如图 6-40 所示。其中的 ROM 分别为 RAM、EEPROM 和 EPROM，且不能将编程器内 RAM 中的用户程序送到 PLC 内的 EPROM 中去。

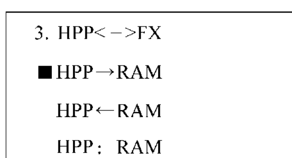


图 6-39　未安装存储器卡盒的屏幕显示

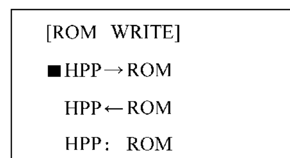


图 6-40　安装有存储器卡盒的屏幕显示

（5）MODULE 功能

MODULE 功能用于 EEPROM 和 EPROM 的写入，先将 FX－20P－RWM 型 ROM 写入器插在编程器上，开机后进入 OFFLINE 方式，选中 MODULE 功能，按功能键 GO 后屏幕显示的内容如图 6-40 所示。

在 MODULE 方式下，共有四种工作方式可供选择：

1）HPP→ROM。将编程器内 RAM 中的用户程序写入插在 ROM 写入器上的 EPROM 或 EEPROM 内。写操作之前必须先将 EPROM 中的内容全部擦除或先将 EEPROM 的写保护开关置于 OFF 位置。

2）HPP←ROM。将 EPROM 或 EEPROM 中的用户程序读入编程器内的 RAM。

3）HPP：ROM。将编程器内的 RAM 中的用户程序与插在 ROM 写入器上的 EPROM 或 EEPROM 内的用户程序进行比较。

4）ERASE CHECK。用来确认存储器卡盒中的 EPROM 是否已被擦干净。如果 EPROM 中还有数据，将显示 ERASE ERROR（擦除错误）。如果存储器卡盒中是 EEPROM，将显示 ROM MISCONNECTED（ROM 连接错误）。

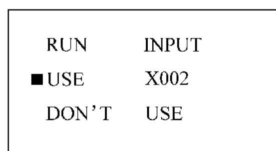


图 6-41　屏幕显示画面

使用图 6-41 所示的画面，可将 X0～X17 中的一个输入点设置为外部的 RUN 开关，选择 DON'T USE 可取消此功能。

6.2　编程软件 GX Developer 的简介和使用

6.2.1　编程软件的简介

1. 软件概述

GX Developer 是三菱通用性较强的编程软件，它能够完成 Q 系列、QnA 系列、A 系列（包括运动控制 CPU）、FX 系列 PLC 梯形图、指令表、SFC 等的编辑。该编程软件能够将编辑的程序转换成 GPPQ、GPPA 格式的文档，当选择 FX 系列时，还能将程序存储为 FXGP（DOS）、FXGP（WIN）格式的文档，以实现与 FXGP/WIN－C 软件的文件互换。该编程软件能够将 Excel、Word 等软件编辑的说明性文字、数据，通过复制、粘贴等简单操作导入程序中，使软件的使用、程序的编辑更加便捷。此外，GX Developer 编程软件还具有以下特点。

（1）操作简便

1）标号编程。用标号编程制作程序的话，就不需要认识软元件的号码而能够根据标示制作成标准程序。用标号编程做成的程序能够依据汇编从而作为实际的程序来使用。

2）功能块。功能块是以提高顺序程序的开发效率为目的而开发的一种功能。把开发顺序程序时反复使用的顺序程序回路块零件化，使得顺序程序的开发变得容易。此外，零件化后，能够防止将其运用到别的顺序程序使得顺序输入错误。

3）宏。只要在任意的回路模式上加上名字（宏定义名）登录（宏登录）到文档，然后输入简单的命令，就能够读出登录过的回路模式，变更软元件就能够灵活利用了。

（2）能够用各种方法和 PLC CPU 连接

1）经由串行通信口与 PLC CPU 连接。

2）经由 USB 接口与 PLC CPU 连接。

3）经由 MELSEC NET/10（H）与 PLC CPU 连接。

4）经由 MELSEC NET（Ⅱ）与 PLC CPU 连接。

5）经由 CC－Link 与 PLC CPU 连接。

6）经由 Ethernet 与 PLC CPU 连接。

7）经由计算机接口与 PLC CPU 连接。

（3）丰富的调试功能

1）由于运用了梯形图逻辑测试功能，能够更加简单地进行调试作业。通过该软件可进行模拟在线调试，不需要与可编程序控制器连接。

2）在帮助菜单中有 CPU 出错信息、特殊继电器/特殊寄存器的说明等内容，所以对于在线调试过程中发生错误，或者是在程序编辑中想知道特殊继电器/特殊寄存器的内容的情况下，通过帮助菜单可非常简便地查询到相关信息。

3）程序编辑过程中发生错误时，软件会提示错误信息或错误原因，所以能大幅度缩短程序编辑的时间。

2. GX Developer 的特点

这里主要就 GX Developer 编程软件和 FX 专用编程软件操作使用的不同进行简单说明。

（1）软件适用范围不同

FXGP/WIN－C 编程软件为 FX 系列 PLC 的专用编程软件，而 GX Developer 编程软件适用于 Q 系列、QnA 系列、A 系列（包括运动控制 SCPU）、FX 系列所有类型的可编程序控制器。需要注意的是，使用 FXGP/WIN－C 编程软件编辑的程序是能够在 GX Developer 中运行，但是使用 GX Developer 编程软件编辑的程序并不一定能在 FXGP/WIN－C 编程软件中打开。

（2）操作运行不同

1）步进梯形图命令（STL、RET）的表示方法不同。

2）GX Developer 编程软件编辑中新增加了监视功能。监视功能包括回路监视，软元件同时监视，软元件登录监视机能。

3）GX Developer 编程软件编辑中新增加了诊断功能，如可编程序控制器 CPU 诊断、网络诊断、CC－Link 诊断等。

4）FXGP/WIN－C 编程软件中没有 END 命令，程序依然可以正常运行，而 GX Developer 在程序中强制插入 END 命令，否则不能运行。

6.2.2　编程软件的使用

1. 程序编制环境及功能

（1）进入程序编制环境

当在计算机中安装好编程软件后，进入程序编制环境有几种方法：

1）单击“开始”→“程序”→“MELSOFT 应用程序”→“GX Developer”项，即可打开程序进入 GX Developer 编程开发环境，如图 6-42 所示。

2）当双击用户程序的工程文件时，也可以进入 GX Developer 编程开发环境。打开工程文件时其主窗口如图 6-43 所示。



图 6-42　GX Developer 编程开发环境

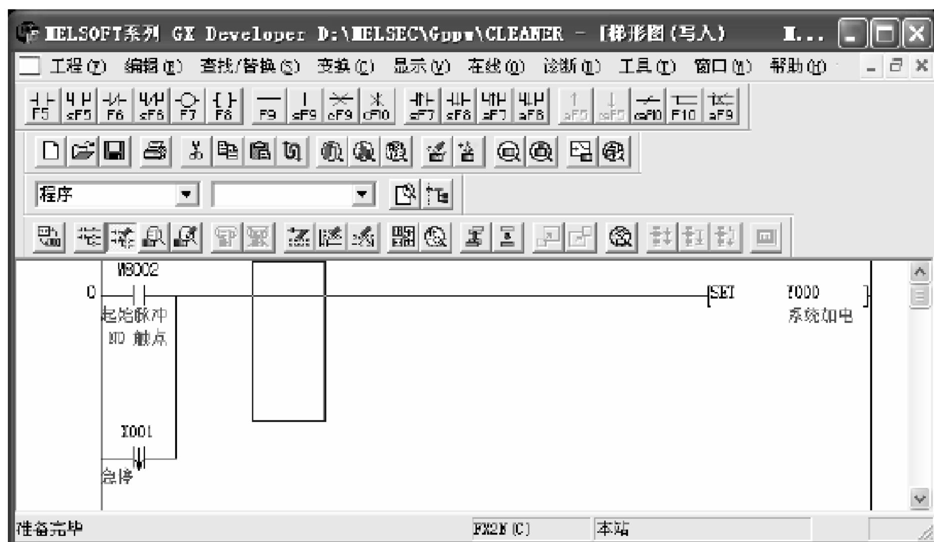


图 6-43　GX Developer 编程环境（打开工程时）

3）双击桌面中 GX Developer 的小图标，也可进入编程环境。当出现初始起动画面，选中初始起动界面菜单栏中的“工程”菜单，并在下拉菜单条中选取“创建新工程”菜单，即出现图 6-44 所示的“创建新工程”对话框。在该对话框中，若“PLC 系列”选择 FX-CPU，“PLC 类型”选择 FX2N（C），“程序类型”选择“梯形图”，进行其他必要设置并单击“确定”按钮后，即可进入图 6-45 所示的 GX Developer 编程软件的操作主界面。

（2）主界面分区

操作主界面大致由菜单栏、工具栏、编辑区、工程参数列表、状态栏等部分组成，以下做简要说明。

1）菜单栏。菜单栏是以下拉菜单形式进行操作，菜单栏中包含“工程”、“编辑”、“查找/替换”、“变换”、“显示”、“在线”、“诊断”、“工具”、“窗口”、“帮助”10 个菜单。

用鼠标单击某项菜单项，弹出该菜单项的菜单条，如“工程”菜单项包含新建工程、打开工程、保存工程、打印、页面设置等，“编辑”菜单项包含剪切、复制、粘贴、行插



图 6-44　“创建新工程”对话框

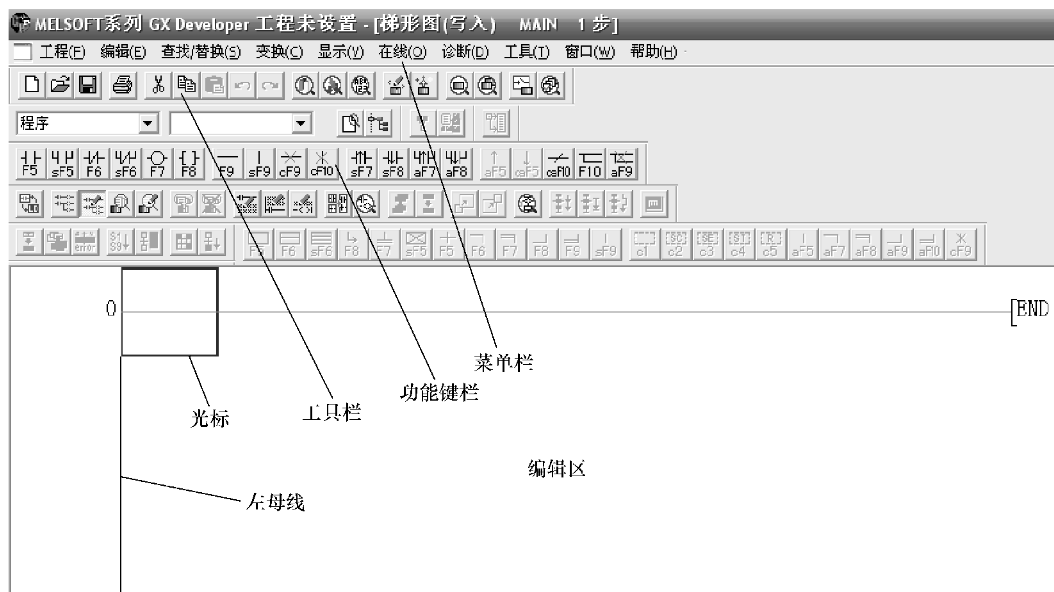


图 6-45　GX Developer 编程软件的操作主界面

入、行删除等。这两个菜单项的主要功能是管理、编辑程序文件。

2）工具栏。工具栏提供简便的鼠标操作，可以直接单击工具栏上的图标，实现快捷的操作。软件将最常用的编程操作以按钮形式设定到工具栏上。可以利用菜单栏中的“显示”菜单项来显示或隐藏工具栏。菜单栏中涉及的各种功能在工具栏中都能找到。

GX Developer 编程环境中有多种工具条，包括标准工具条、程序工具条、梯形图标记工具条、梯形图（SFC）工具条、SFC 块的工具条、注释工具条、数据切换工具条、软元件填充工具条等，如图 6-46 所示。

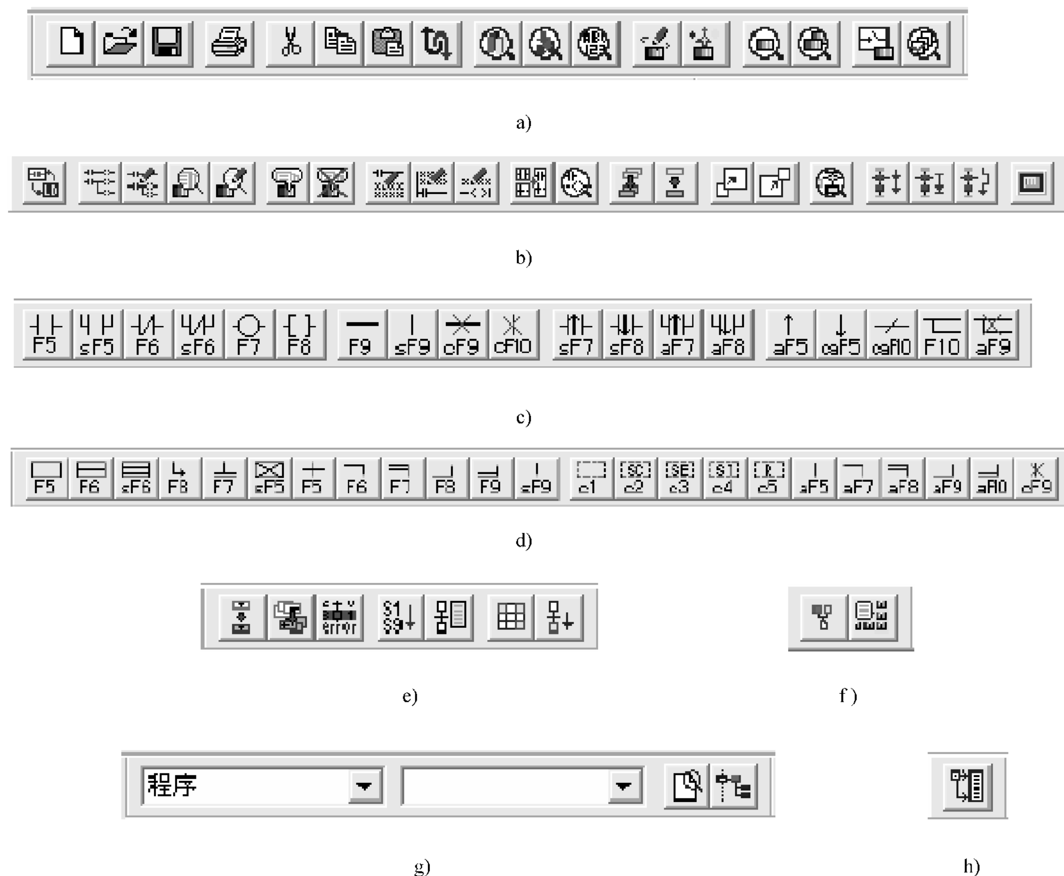


图 6-46　GX Developer 编程环境中工具条

a）标准工具条　b）程序工具条　c）梯形图标记工具条　d）梯形图（SFC）工具条　e）SFC 块的工具条
f）注释工具条　g）数据切换工具条　h）软元件填充工具条

单击，即可实现工程数据的显示与关闭。有一种简单的方法，可得到工具条上图标按钮的注释，就是将鼠标的光标移动到某图标按钮上，图标按钮的注释会出现在图标按钮的下方，如图 6-47 所示。

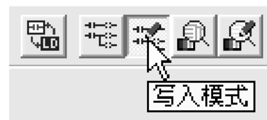


图 6-47　获得图标的注释

标准工具条：由新建、打开、保存、复制、粘贴等工具菜单中常用的功能组成。

程序工具条：可进行梯形图模式、指令表模式的转换；进行读出模式、写入模式、监视模式、监视写入模式的转换。

数据切换工具条：可在程序菜单、参数、注释、编程元件内存这四个项目中切换。

梯形图标记工具条：包含梯形图编辑所需要使用的常开触点、常闭触点、应用指令等内容。

SFC 块的工具条：可对 SFC 程序进行块变换、块的信息设置、排序、块监视操作。

SFC 符号工具条：包含 SFC 程序编辑所需要使用的步、块的起动步、选择合并、平行等。

软元件填充工具条：进行软元件的填充设置。

注释工具条：可进行注释范围设置，或对公共/各程序的注释进行设置。

3）编辑区。完成程序的编辑、修改、监控等。编辑区用来显示编程操作的工作对象。可以使用梯形图、指令表等方式进行程序的编辑工作。使用菜单栏中“显示”菜单项中的梯形图及指令表菜单条，实现梯形图程序与指令表程序的转换。也可利用工具栏中梯形图及指令表的按钮实现梯形图程序与指令表程序的转换。

4）工程参数列表。显示程序、编程元件注释、参数、编程元件内存等内容，可实现这些项目的数据的设定。

5）状态栏。编辑区下部是状态栏，用于表示编程 PLC 类型，软件的应用状态及所处的程序步数等。

状态栏下为功能键栏，其与编辑区中的功能图栏都含有各种梯形图符号，相当于梯形图绘制的图形符号库。

（3）基本操作简介

1）基本文件操作。PLC 程序文件，都与“工程”文档相关。新建、打开、关闭、保存、另存为 PLC 程序文件；PLC 程序文件的打印；改变 PLC 的类型都可以通过“工程”菜单中的对应菜单项来完成。其他格式的 PLC 程序文件的读取和写入，可以通过“工程”菜单中的“读取其他格式的文件”和“写入其他格式的文件”菜单项来完成。将程序从 PLC 传输到计算机（上传或读取）或者从计算机写入到 PLC 中（下载或写入），可以通过“在线”菜单中的“PLC 读取”或者“PLC 写入”菜单项来完成。

图 6-48 所示为已经打开工程时的“工程”菜单。

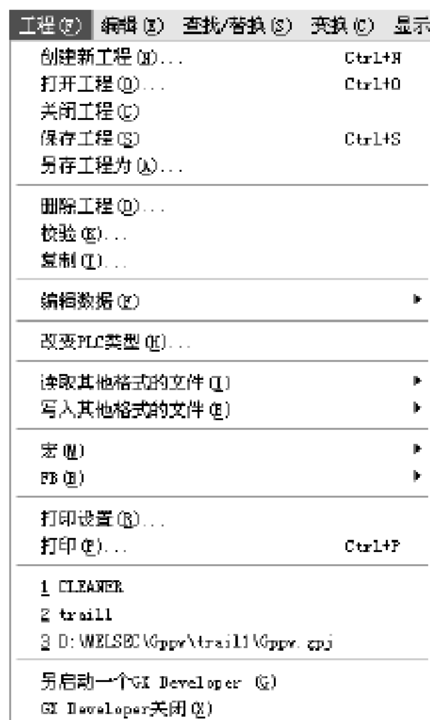


图 6-48　“工程”菜单

2）梯形图程序编辑操作。梯形图程序的输入，可以使用梯形图标记工具条中的图标按钮或“编辑”菜单中的“梯形图标记”子菜单来输入；梯形图程序编辑，可以使用主菜单上的“查找/替换”和“编辑”菜单或者梯形图写入状态下的鼠标右键菜单来完成。

3）转换。在梯形图写入模式下，输入完 PLC 程序后，需要将梯形图转换为 PLC 内部格式。

2. 梯形图程序建立及编辑操作

（1）建立梯形图程序文件

先进入 GX Developer 程序主界面。通过单击“工程”菜单中的“创建新工程”或者按 Ctrl + N 键，或者单击标准工具条中的图标，就出现图 6-49 所示的“创建新工程”对话框，选择合适的 PLC 系列和 PLC 类型；然后，选择程序类型，设置工程名和工程标题，最

后单击“确定”按钮，则可进入梯形图编程环境。

可以单击“浏览”按钮，选择梯形图程序所要存放的文件路径。



图 6-49　“创建新工程”对话框

（2）打开梯形图程序文件

进入 GX Developer 程序主界面。通过单击“工程”菜单中的“打开工程”，或者按 Ctrl + O 键，或者单击标准工具条中的图标，就出现图 6-50 所示的“打开工程”对话框。选择梯形图程序工程文件所存放的文件路径，然后输入工程名，单击“打开”按钮，则可进入梯形图编程环境。



图 6-50　“打开工程”对话框

（3）读取梯形图程序文件

将程序从 PLC 传输到计算机（上传或者读取），可以通过“在线”菜单中的“PLC 读取”菜单项来完成。或者，在没有打开 PLC 工程文件的情况下，单击标准工具条中的图标，就出现图 6-51 所示的“选择 PLC 系列”对话框。在“PLC 系列”列表框中选择 FXCPU，单击“确定”按钮。



图 6-51　“选择 PLC 系列”对话框

（4）读取其他格式的梯形图程序文件

在“工程”菜单中选择“读取其他格式的文件”则显示图 6-52a 所示的子菜单（已经建立工程）或者图 6-52b 所示的子菜单（未经建立工程），再选择相应的文件格式读入 PLC 程序。

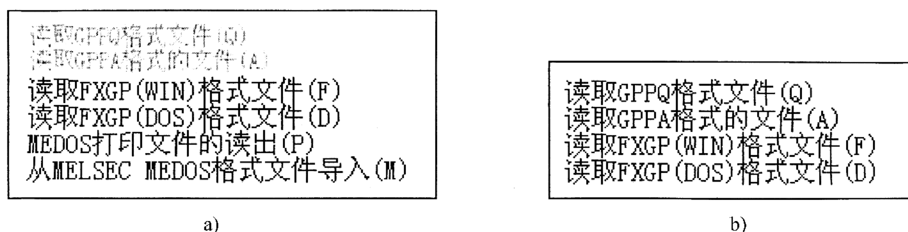


图 6-52　读取其他格式的文件子菜单

a）已经建立工程　b）未经建立工程

GX Developer 程序支持以下几种文件的读取：

1）从 DOS 环境下产生的 MEDOC 的打印文件导入梯形图程序文件。

2）从 MELSEC MEDOC 格式文件导入梯形图程序文件。

3）FXGP/WIN 的格式文件。

4）FXGP/DOS 的格式文件。

5）FPPQ 的格式文件。

6）FPPA 的格式文件。

如果在“工程”菜单中选择了对应菜单中的文件格式，就可以将其导入到 GX Developer 中。

（5）梯形图程序输入

梯形图程序可以用梯形图标记工具条中的图标按钮来输入。梯形图标记工具条如图 6-53a 所示；或用“编辑”菜单中的“梯形图标记”子菜单来输入，如图 6-53b 所示。

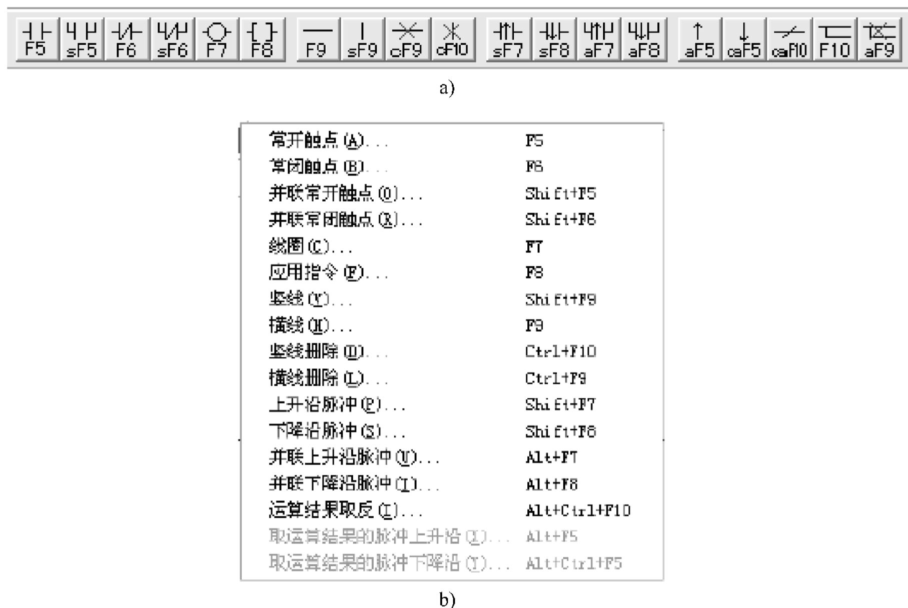


图 6-53　梯形图标记工具条和子菜单

a）梯形图标记工具条　b）梯形图标记子菜单

例如，要输入特殊继电器 M8000 的常开触点，单击梯形图标记工具条中的 图标，或者在梯形图标记子菜单中选择“常开触点”，或者按 F5 键，则会在 GX Developer 编程环境中显示图 6-54 所示的软元件输入框，输入 M8000，单击“确定”按钮。



图 6-54　软元件输入框

(6) 梯形图程序编辑

梯形图程序编辑可以使用主菜单上的“查找/替换”和“编辑”菜单或者梯形图写入状态下的右击后出现的快捷菜单来完成，如图 6-55 ~ 图 6-57所示。编辑梯形图程序时，要处于梯形图写入模式。在“编辑”菜单中，用“读出模式”、“写入模式”切换梯形图模式。

通过“查找/替换”菜单，可以找到所要编辑的位置；通过“编辑”菜单，可进行行与列的插入或者删除，可进行剪切、复制、粘贴等操作。利用“编辑”菜单，完成对 TC 设置值的改变。

其他可以操作的项目，可以参阅图 6-55 ~ 图 6-57。

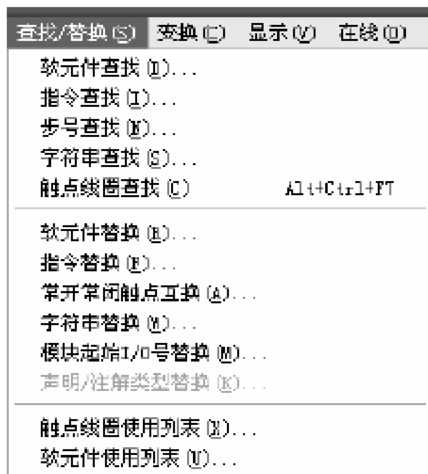


图 6-55　“查找/替换”菜单

(7) 梯形图的转换

在梯形图写入模式下，输入完 PLC 程序后，需要将梯形图转换为 PLC 内部格式。未转换时，梯形图背景呈灰色，转换完成时，梯形图背景呈白色。

可以单击程序工具条中的程序变换图标，或者选择“变换”菜单下的“变换”菜单项，或者按 F4 键，来完成转换。“变换”菜单如图 6-58 所示。

如果有错误，或存在不能变换的梯形图，则不能完成转换，光标停留在出错处。需修正错误后，才能转换。为避免错误累积，方便查错，建议每输入一段程序，就做一次转换。

编辑(E)　查找/替换(S)　变换(C)　显示(V)　在

撤销(U)	Ctrl+Z
返回至梯形图变换后的状态(A)	
剪切(T)	Ctrl+X
复制(C)	Ctrl+C
粘贴(P)	Ctrl+V
行插入(N)	Shift+Ins
行删除(E)	Shift+Del
列插入(H)	Ctrl+Ins
列删除(D)	Ctrl+Del
NOP批量插入(I)...	
NOP批量删除(F)	
划线写入(G)	F10
划线删除(J)	Alt+F9
TC设置值改变(K)...	
读出模式(R)	Shift+F2
• 写入模式(W)	F2
梯形图标记(S)	▸
文档生成(O)	▸

图 6-56　“编辑”菜单

撤销(U)	Ctrl+Z
剪切(T)	Ctrl+X
复制(C)	Ctrl+C
粘贴(P)	Ctrl+V
行插入(N)	Shift+Ins
行删除(E)	Shift+Del
列插入(H)	Ctrl+Ins
列删除(D)	Ctrl+Del
划线写入(G)	F10
划线删除(J)	Alt+F9
软元件查找(D)...	
指令查找(I)...	
步号查找(N)...	
字符串查找(S)...	
触点线圈查找(C)	Alt+Ctrl+F7
触点线圈使用列表(X)...	
软元件使用列表(U)...	
变换(C)	F4

图 6-57　梯形图写入模式下鼠标右键菜单

（8）梯形图程序的存储

通过单击“工程”菜单中的“保存工程”，或者按 Ctrl + S 键，或者单击标准工具条中的图标🖫，就可以保存梯形图文件。

变换(C)　显示(V)　在线(O)　诊断(D)　工具(

变换(C)	F4
变换(编辑中所有程序)(A)	Alt+Ctrl+F4
变换(运行中写入)(R)	Shift+F4

图 6-58　“变换”菜单

或者单击“工程”菜单中的“另存工程为”命令，就出现图 6-59 所示的“另存工程为”对话框，有可能要求选择合适的路径，设置工程名和工程标题，最后单击“保存”按钮。如果选择工程时，没有输入工程名，则会出现图 6-60a 所示的对话框。如果输入的工程名之前已经存在，则会出现图 6-60b 所示的对话框。选择确认新建或者确认替换即可。



图 6-59　“另存工程为”对话框



a)　　b)

图 6-60　对话框

a）确认新建　b）确认替换

3. 梯形图程序下载到 PLC

程序从计算机写入（或者下载）到 PLC 中，可以通过“在线”菜单中的“PLC 写入”菜单项来完成。或者单击标准工具条中的图标，就可以将程序写入到 PLC 中。

如果通信有错误，就会显示错误信息。

4. PLC 程序的运行与监控、调试

（1）PLC 程序的运行

当 PLC 的外围电路已经接好，接通电源，将 PLC 的运行停止开关（RUN/STOP）拨到运行（RUN）位置，程序就开始运行。

（2）PLC 程序的调试和监控

基本的调试任务主要有程序检查、参数检查，可以在“工具”菜单中选择，如图 6-61 和图 6-62 所示。

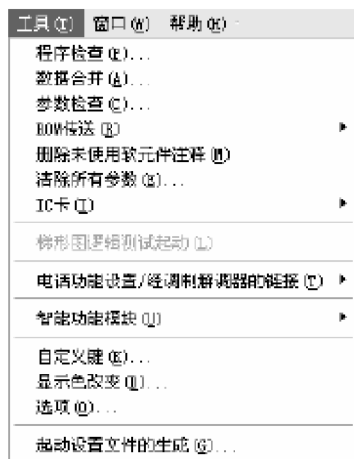


图 6-61　“工具”菜单



图 6-62　程序检查

在“在线”菜单（见图 6-63）下，可以对 PLC 程序进行监视、调试、程序校验。在“调试”子菜单下，可以进行软元件测试、强制输入/输出、调试、跳跃执行、部分执行和单步执行。

在“在线”菜单的“监视”子菜单下，可以完成或设置监视模式、监视（写入模式），监视开始、监视停止，全画面监视开始、全画面监视停止，局部软元件监视，当前值监视切

换，监视起始条件设置、监视停止条件设置，中断程序监视列表，扫描时间测定等。

5. PLC 程序的打印

通过单击“工程”菜单中的“打印”，或者按 Ctrl + P 键，或者单击标准工具条中的图标，就出现图 6-64 所示的“打印”对话框。可按示例设置打印项目。

6. PLC 程序的注释和显示

在“显示”菜单（见图 6-65）上，可以对梯形图进行放大缩小设置，以使梯形图显示得更为清楚。可以在“工具条”子菜单上设置是否在主菜单下显示 8 种工具条中的一部分。如图 6-66 所示，黑点表示需要显示该工具条，空心表示不需要显示该工具条。

在“显示”菜单上，在“注释显示”项和“状态条”的前面打勾（即选中），则梯形图中会显示软元件注释。

在工具条上单击工程数据列表图标，再单击工程数据列表中软元件注释下方的 COMMENT 前的图标，则显示图 6-67 所示的软元件注释框。

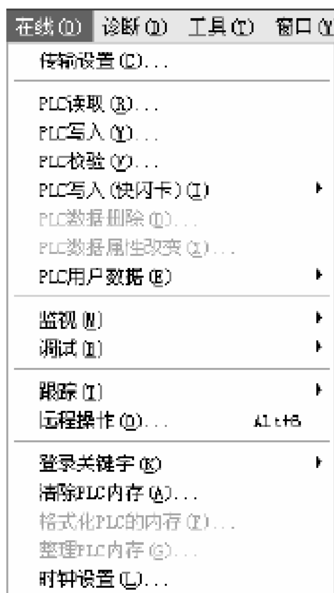


图 6-63　“在线”菜单

可以输入、编辑和修改软元件名所对应的注释，也可以输入、编辑和修改软元件名所对应的电器代号，即对应于电气原理图中的元件部件代号，GX Developer 下称机器名。

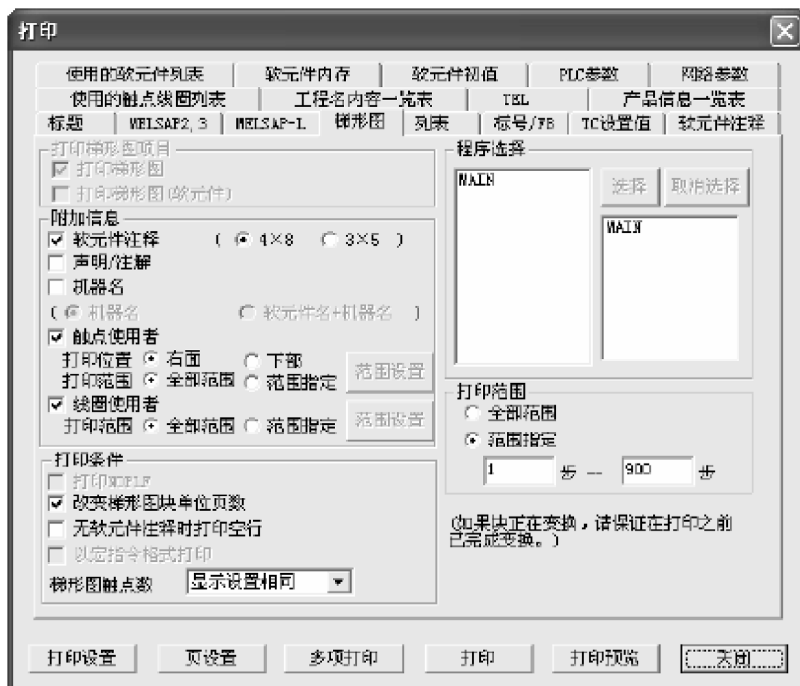


图 6-64　“打印”对话框



图 6-65　“显示”菜单



图 6-66　工具条设置



图 6-67　软元件注释框

在工程数据列表显示窗口中，显示软元件注释窗口时，“编辑”菜单是用于编辑和设置软元件注释的，如图 6-68 所示。

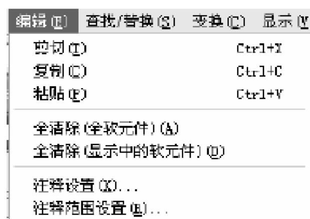


图 6-68　软元件注释时的“编辑”菜单

7. “帮助”菜单

选择“帮助”菜单（见图 6-69），可以查询 PLC 出错代码，特殊继电器和特殊寄存器的定义和使用。选择“快捷键操作列表”命令，可以列出通用快捷键、梯形图快捷键、指令表快捷键、SFC 通用快捷键、SFC 符号快捷键及 SFC 调试跟踪快捷键，如图 6-70 所示。

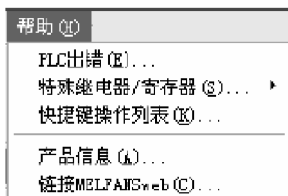


图 6-69　“帮助”菜单

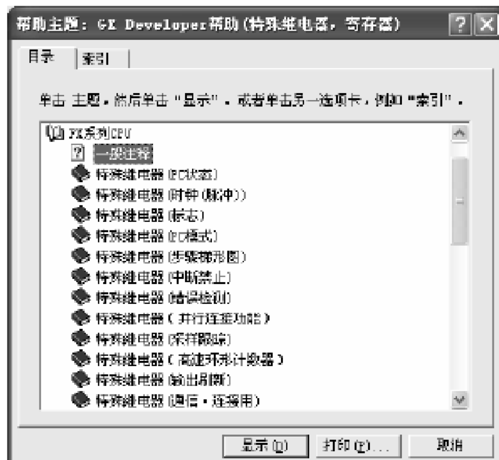


图 6-70　快捷键操作列表

6.3　SWOPC－FXGP/WIN－C 编程软件简介

1. 概述

（1）SWOPC－FXGP/WIN－C 编程软件的功能

SWOPC－FXGP/WIN－C 是应用于 FX 系列 PLC 的编程软件，可在 Windows 下运行。在该软件中，可通过梯形图、指令表及 SFC 符号来编写 PLC 程序，建立注释数据，设置寄存器数据等。创建的程序可在串行系统中与 PLC 进行通信、文件传送、操作监控以及完成各种测试功能。也可将其存储为文件，用打印机打印出来。

（2）编程系统的构成与配置

SWOPC－FXGP/WIN－C 主要由以下部分构成：系统操作软件、操作手册、软件登记卡、接口单元及电缆线（任选）。

可供选择的接口单元与电缆线有：

1）FX－232AWC 型 RS－232C/RS－422 转换器（便携式）；

2）FX－232AW 型 RS－232C/RS－422 转换器（内置式）；

3）F2－232CAB 型 RS－232C 缆线（用于 PC－9800，25 针 D 型接头，3m）；

4）F2－232CAB－2 型 RS－232C 缆线（用于 PC－9800，14 针接头，3m）；

5）F2－232CAB－1 型 RS－232C 缆线（用于 PC/AT，9 针 D 型接头，3m）；

6）FX－422CAB0 型 RS－422 缆线（用于 FX0、FX0S、FX0N 型 PLC，1.5m）；

7）FX－422CAB 型 RS－422 缆线（用于 FX1、FX2、FX2C 型 PLC，0.3m）；

8）FX－422CAB－150 型 RS－422 缆线（用于 FX1、FX2、FX2C 型 PLC，1.5m）。

（3）SWOPC－FXGP/WIN－C 编程软件的起动与退出

安装好软件后，在计算机桌面上自动形成 FXGP/WIN－C 的图标，用鼠标双击该图标，可打开编程软件。软件初始运行界面如图 6-71 所示，选择“文件”→“退出”命令，将退出编程软件。



图 6-71　软件初始运行界面

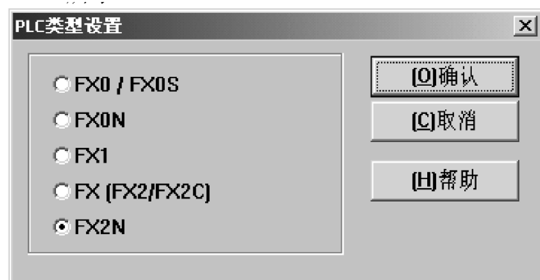


图 6-72　“PLC 类型设置”对话框

（4）程序编制主界面

软件初始运行界面出现后，选择“文件”→“新文件”命令，出现“PLC 类型设置”对话框，如图 6-72 所示。选择 PLC 的型号后，单击“确认”按钮，此时计算机屏幕显示程序编辑主界面，如图 6-73 所示。

（5）“视图”菜单的使用

打开“视图”菜单，如图 6-74 所示。FXGP/WIN－C 软件提供三种编程语言，分别是梯形图、语句表和功能逻辑图（SFC），可选择对应的编程语言。当用梯形图程序编写后，通过“视图”菜单下梯形图、指令表和 SFC（功能逻辑图）子菜单进行三种编程语言的转换。

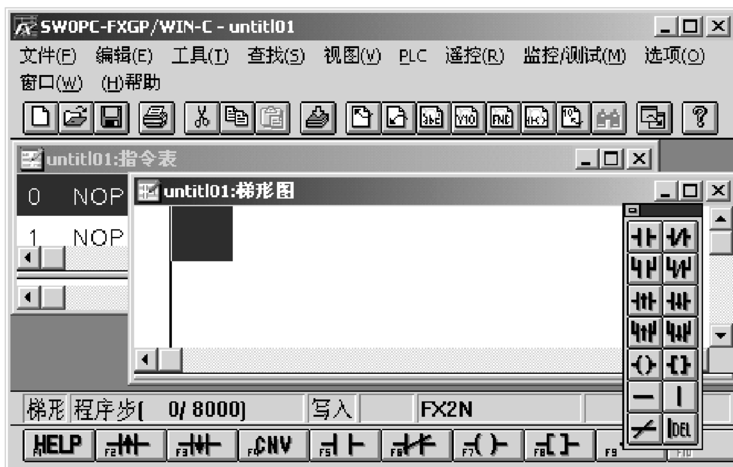


图 6-73　程序编辑主界面

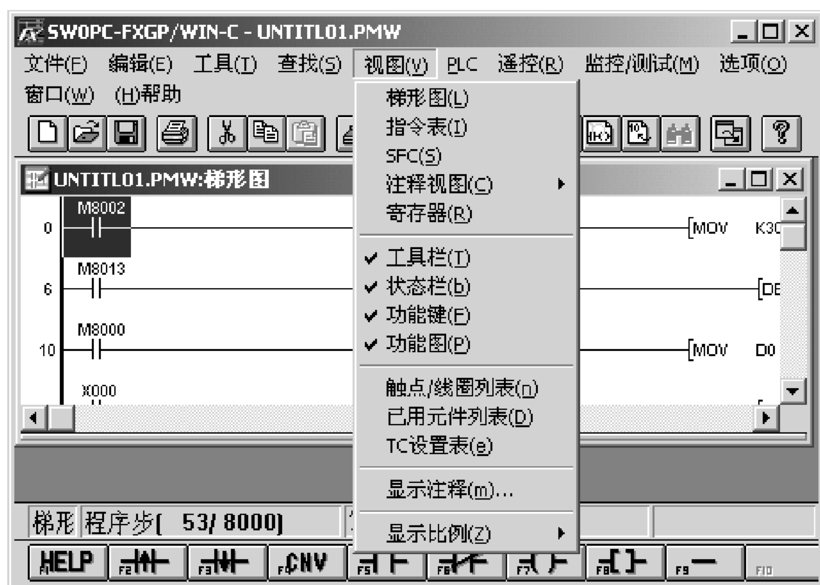


图 6-74　“视图”菜单

选择“视图”菜单下的“工具栏”、“状态栏”、“功能键”和“功能图”子菜单，如图 6-75 所示。

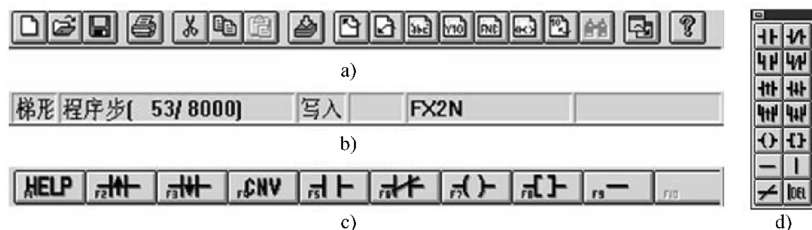


图 6-75　“工具栏”、“状态栏”、“功能键”和“功能图”子菜单
a）工具栏　b）状态栏　c）功能键　d）功能图

（6）“工具”菜单的使用

梯形图中对软元件的选择既可通过“功能键”和“功能图”子菜单完成，也可用“工具”菜单完成。“工具”菜单如图 6-76 所示。

菜单下的“触点”子菜单提供对输入各元件的选用，“线圈”和“功能”子菜单提供了对各输出继电器、中间继电器、时间继电器和计数器等软元件的选用。“连线”子菜单除了用于梯形图中各连线外，还可以通过 Del 键删除连接线。“全部清除”子菜单用于清除所有编程内容。

（7）“编辑”菜单的使用

“编辑”菜单含有图 6-77 所示的内容。“剪切”、“撤销键入”、“粘贴”、“复制”和“删除”子菜单操作和普通软件一样。其余各子菜单是对各连接线、软元件等的操作。



图 6-76 “工具”菜单



图 6-77 “编辑”菜单

2. 梯形图编程操作

下面着重介绍梯形图编辑功能的具体操作方法。

（1）梯形图剪切

功能：将电路块单元剪切掉。

操作方法：通过“编辑”→“块的选择”菜单操作选择电路块，再通过“编辑”→“剪切”菜单操作或 Ctrl + X 键操作，被选中的电路块被剪切并保存在剪贴板中。

（2）梯形图粘贴

功能：粘贴电路块单元。

操作方法：通过“编辑”→“粘贴”菜单操作或 Ctrl + V 键操作，把选择的电路块粘贴上去；被粘贴上的电路块的数据来自于执行“剪切”或“复制”命令时存储在剪贴板中的数据。

（3）梯形图的行删除

功能：在行单元中删除线路块。

操作方法：通过执行“编辑”→“行删除”菜单操作或 Ctrl + Del 键盘操作，把光标所在行的线路块删除。

（4）梯形图的行插入

功能：在梯形图中插入一行。

操作方法：通过执行“编辑”→“行插入”菜单操作，在光标位置上插入一行。

（5）元件名

功能：在进行线路编辑时输入一个元件名。

操作方法：在执行“编辑”→“元件名”菜单操作时，屏幕显示元件名输入对话框。在输入栏输入元件名并按 Enter 键或“确认”按钮，光标所在电路符号的元件名即被登录。必须指出的是元件名可为字母数字及符号，但长度不得超过 8 位；复制时不得同名。

（6）元件注释

功能：在进行电路编辑时输入元件注释。

操作方法：在执行“编辑”→“元件注释”菜单操作时，元件注释输入对话框被打开。元件注释被登录后即被显示；在输入栏中输入元件注释，再按 Enter 键或“确认”按钮，光标所在电路符号的元件注释便被登录。注意，元件注释不得超过 50 字符。

（7）线圈注释

功能：在进行电路编辑时输入线圈注释。

操作方法：在执行“编辑”→“线圈注释”菜单操作时，线圈注释输入对话框被显示；当线圈注释被登录时即被显示，在输入栏中输入线圈注释并按 Enter 键或“确认”按钮，光标所在处线圈的注释即被登录，以备线圈命令或其他功能指令应用。

（8）触点

功能：输入电路符号中的触点符号。

操作方法：在执行“工具”→“触点”→“－|　|－”菜单操作时，选中一个触点符号，显示元件输入对话框，执行“工具”→“触点”→“－|/|－”菜单操作选中 B 触点，执行“工具”→“触点”→“－| P|－”菜单操作选择脉冲触点符号；或执行“工具”→“触点”→“－| F|－”菜单操作选择下降沿触发触点符号，在元件输入栏中输入元件，按 Enter 键或确认按钮后，光标所在处便有一个元件被登录。若单击参照按钮，则显示元件说明对话框，可完成更多的设置。

（9）线圈

功能：在电路符号中输入/输出线圈。

操作方法：在执行“工具”→“线圈”菜单操作时，显示元件输入对话框。在输入栏中输入元件，按 Enter 键或“确认”按钮，于是光标所在处的输出线圈符号被登录。单击参照按钮，则显示元件说明对话框，可进行进一步的特殊设置。

（10）功能

功能：输入功能线圈命令等。

操作方法：在执行“工具”→“功能”菜单操作时，显示命令输入对话框。在输入栏中输入元件，按 Enter 键或“确认”按钮，光标所在处的应用命令被登录；再单击参照按钮，命令说明对话框被打开，可进行进一步的特殊设置。

（11）连线

功能：输入垂直及水平线，删除垂直线。

操作方法：垂直线由菜单操作“工具”→“连线”→“|”登录；水平线由菜单操作“工具”→“连线”→“－”登录；翻转线由菜单操作“工具”→“连线”→“－/－”

登录；垂直线删除由菜单操作“工具”→“连线”→“｜删除”删除。

（12）元件名查找

功能：在字符串单元中查找元件名。

操作方法：通过“查找”→“元件名查找”菜单操作，显示元件名查找对话框，输入待要查找的元件名，单击运行按钮或按 Enter 键，执行元件名查找操作，光标移动到包含元件名的字符串所在的位置，此时显示已被改变。

（13）触点/线圈查找

功能：确认并查找一个任意的触点或线圈。

操作方法：在执行“查找”→“触点/线圈查找”菜单操作时，触点/线圈查找对话框显示。键入待查找的触点或线圈；单击运行按钮或按 Enter 键，执行指令，光标移动到已寻到的触点或线圈处，同时改变显示。

（14）到指定步数查找

功能：确认并查找一个任意程序步。

操作方法：在执行“查找”→“到指定步数”菜单操作时，屏幕上显示程序步查找对话框。输入待查的程序步，单击运行按钮或按 Enter 键执行指令，光标移动到待查的步处，同时改变显示。

（15）改变元件号

功能：改变特定软元件地址。

操作方法：执行“查找”→“改变元件号”菜单操作，屏幕显示改变元件的对话框，设置好将被改变的元件及范围，单击运行按钮或按 Enter 键，执行指令。

例如，用 X20～X25 替换 X10～X15，操作为在“被代换元件”输入栏中输入 X10～X15，并在“代换起始点”处输入 X10。

在此功能下，用户可设定顺序替换或成批替换，还可设定是否同时移动注释以及功能指令元件。不过被指定的元件仅限于同类元件。

（16）改变位元件

功能：将 A 触点与 B 触点互换。

操作方法：执行“查找”→“改变位元件”菜单操作，改变 A、B 触点的对话框出现。指定待换元件范围，单击运行按钮或按 Enter 键，即执行改变 A、B 触点（触点互换）。可选择顺序改变或成批改变。但被指定互换的元件仅限于同类元件。

（17）梯形图视图

功能：打开电路图视图或激活已打开的电路图视图。

操作方法：执行“视图”→“梯形图视图”菜单，窗口显示被改变。

（18）指令表视图

功能：打开指令表视图或激活已被打开的指令表视图。

操作方法：执行“视图”→“指令表视图”菜单，窗口显示被改变。

（19）运行时程序改变

功能：将运行中的与计算机相连的 PLC 的程序做部分改变。

操作方法：在线路编辑中，执行“PLC”→“运行时改变程序”菜单操作，或按 Shift + F4 键操作时出现确认对话框，单击确认按钮或 Enter 键，执行指令。

必须注意：该功能改变了 PLC 操作，应对其改变内容认真加以确认；计算机的 RS－232C 端口及 PLC 之间必须用指定的缆线及转换器连接；PLC 程序内存必为 RAM；可被改变的程序仅为一个电路块，且限于 127 步；被改变的电路块中应无高速计数器的功能指令或标签。

（20）梯形图监控

功能：在显示屏上监视 PLC 的操作状态，从电路编辑状态转换到监视状态，同时在显示的电路图中显示 PLC 操作状态（ON/OFF）。

操作方法：激活梯形图视图，通过进行菜单操作进入“监控/测试”→“开始监控”。需要注意，在梯形图监控中，电路图中只有 ON/OFF 状态被监控；当监控当前值以及设置寄存器、定时器、计数器数据时，应登录监控功能。

3. 文件操作

（1）新文件

功能：创建一个新的应用程序。

操作方法：通过选择“文件”→“新文件”菜单项，或者按 Ctrl＋N 键操作，在 PC 模式设置对话框中选择应用程序的目标 PC 模式。注意当操作“新文件”时，如果应用程序已被打开，应用 S/W 重新起动，产生一个新的应用指令程序。

（2）打开

功能：从一个文件列表中打开一个新的应用程序以及诸如注释数据之类的数据。

操作方法：先选择“文件”→“打开”菜单或按 Ctrl＋O 键，再在打开的“文件”菜单中选择一个所需的应用程序。注意：①当应用程序已被打开，操作“打开”时，相应的应用 S/W 为重新起动，说明指定的应用程序已准备好。②应用程序及诸如注释数据等享有同样文件名的数据被集成为一个数据。

（3）保存

功能：保存当前应用程序、注释数据以及其他在同一文件名下的数据。如果是第一次保存，屏幕显示“赋名及保存”对话框，可通过该对话框将它们保存下来。

操作方法：执行“文件”→“保存”菜单操作或按 Ctrl＋S 键操作即可。

（4）赋名及保存

功能：指定保存文件的文件名及路径，保存应用程序以及诸如注释文件之类的数据。

操作方法：选择“文件”→“赋名并且保存”操作，“保存文件”对话框将被打开；指定好文件名及路径。可同时在对话框“程序写入器”中登录注释数据。当 PMC 被录入文件目录，数据以及可被 DOS 环境使用的程序文件格式存入。

注意：在输入文件名时可不必输入文件扩展名，所有文件被自动加上扩展名；只有程序＋参数（PMC）数据才能以 DOS 文件格式存储，注释文件不在此列。

4. 打印操作

（1）打印

功能：依据已有格式打印应用程序及其注释。

操作方法：执行“文件”→“打印”菜单操作或按 Ctrl＋P 键操作，在“打印条件”对话框中可设定诸如连带注释打印等打印条件，单击确认按钮或按 Enter 键开始打印。如果要终止打印，可单击在“正在打印”对话框中的取消键或按 Esc 键。

注意：在打印过程中，确认打印机与计算机或网络相连，在“打印设置”中设置好驱动程序；当需要连续打印线路图、指令表或打印诸如寄存器数据之类的特殊数据时，可在“批量打印”中设置。

（2）全部打印

功能：可以以一种已存在的格式，指定的打印项目及按照顺序批量打印电路图、指令表、SFC、寄存器数据及其他特殊数据。

操作方法：执行“文件”→“全部打印”菜单操作，在“批量打印”对话框中设置打印项目及说明，依照打印项目登录顺序依次打印，单击确认按钮或按 Enter 键后开始打印。如要中断打印，只要单击“打印”对话框中取消按钮或按 Esc 键即可。注意：应将打印机与计算机或网络相连，在“打印设置”中加以确认。

5. PLC 操作

当计算机屏幕处于打开新文件状态时，将光标指向选择 PLC 位置，此时计算机屏幕显示如图 6-78 所示。在此状态下，可进行 PLC 操作。



图 6-78 选择 PLC 时的屏幕显示

（1）程序传送

功能：将已创建的应用程序成批传送到 PLC 中，包括“读入”、“写出”和“核对”。

1）读入：将 PLC 中的应用程序传送到计算机中。

2）写出：将计算机中的应用程序发送到 PLC（PLC）中。

3）核对：将在计算机及 PLC 中的应用程序加以比较校验。

操作方法：由执行 PLC→“传送”→“读入”或“写出”或“核对”菜单操作而完成。当选择“读入”时，应在“PLC 模式设置”对话框中将已连接的 PLC 模式设置好。

操作时应注意：计算机的 RS－232C 端口及 PLC 之间必须用指定的缆线及转换器（专用）连接；执行完“读入”后，PLC 模式被改变成被设定的模式，现有的应用程序被读入的程序所替代；在“写出”时，PLC 应停止运行，程序必须在 RAM 或 EEPROM 内存保护关断的情况下写出，然后再进行核对。

（2）寄存器传送

功能：将已创建的寄存器数据成批传送到 PLC 中，包括“读入”、“写出”和“核对”。

1）读入：将设置在 PLC 中的寄存器数据读出并存入计算机中。

2）写出：将计算机中的寄存器数据写入 PLC 中。

3）核对：将计算机中的数据与 PLC 中的数据进行核对。

操作方法：选择 PLC→“寄存器传送”→“读入”或“写出”或“核对”菜单操作。在“各种功能”对话框中设置寄存器类型。

操作时应注意：计算机的 RS－232C 端口及 PLC 之间必须用指定的缆线及转换器连接；PLC 的模式必须与计算机中设置的 PLC 模式一致。

（3）PLC 存储器清除

功能：为了使 PLC 中的程序及数据初始化，必须清除以下三项内容。

1）PLC 存储器：应用程序为 NOP，参数设置为默认值。

2）数据元件存储器：数据文件缓冲器中数据置零。

3）位元件存储器：X、Y、M、S、T、C 的值被置零。

操作方法：执行 PLC→“PLC 存储器清除”菜单操作，再在“PLC 存储器清除”中设置清除项。必须指出的是，特殊数据寄存器数据不被清除。

6. 监控操作

（1）元件监控

功能：监控元件单元。

操作方法：“监控/测试”菜单如图 6-79 所示，执行“监控/测试”→“元件监控”菜单操作命令，屏幕显示元件登录监控窗口。在此登录元件，双击鼠标或按 Enter 键显示元件登录对话框。设置好元件及显示点数，再按确认按钮或 Enter 键即可。



图 6-79　“监控/测试”菜单

（2）强制 Y 输出

功能：强制 PLC 输出端口（Y）输出 ON/OFF。

操作方法：执行“监控/测试”→“强制 Y 输出”菜单操作，出现“强制 Y 输出”对话框，如图 6-80 所示。设置元件地址及 ON/OFF，单击运行按钮或按 Enter 键，即可完成特定输出。

（3）强制 ON/OFF

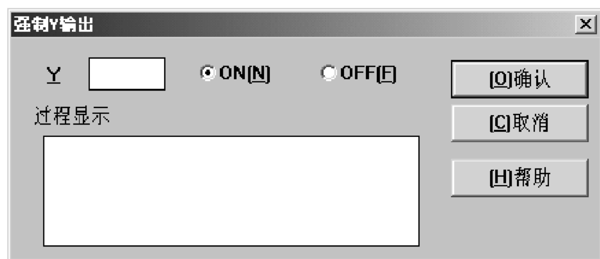


图 6-80　“强制 Y 输出”对话框

功能：强行设置或重新设置 PLC 的位元件。

操作方法：执行“监控/测试”→“强制 ON/OFF”菜单操作，屏幕显示对话框如图 6-81 所示。在此对话框内设置元件 SET/RST，按 Enter 键，使特定元件得到设置或重置。

1）SET 有效元件。X、Y、M、特殊元件 M、S、T、C。

2）RST 有效元件。X、Y、M、特殊元件 M、S、T、C、D、特殊元件 D、V、Z。

3）RST 字元件。当 T 或 C 被重置，其位信息被关闭，当前值被清零。如果是 D、V 或 Z，仅仅是当前值被清零。

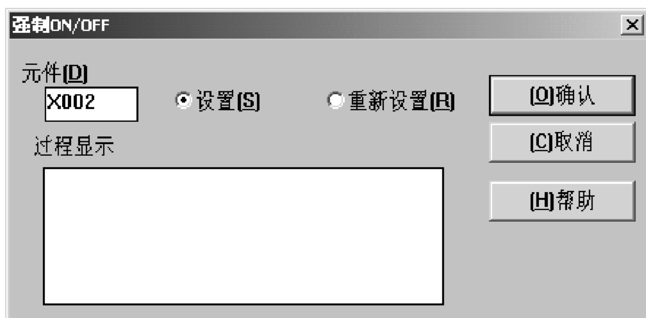


图 6-81　“强制 ON/OFF”对话框

（4）改变当前值

功能：改变 PLC 字元件的当前值。

操作方法：执行“监控/测试”→“改变当前值”菜单操作，屏幕显示改变当前值对话框。在此对话框内选定元件及改变值，单击运行按钮或按 Enter 键，选定元件的当前值即被改变。

（5）改变设置值

功能：改变 PLC 中计数器或定时器的设置值。

操作方法：在电路监控中，如果光标所在位置为计数器或定时器的输出命令状态，执行“监控/测试”→“改变设置值”菜单操作，屏幕显示改变设置值对话框。在此对话框内，设置待要改变的值并单击运行按钮或按 Enter 键，指定元件的设置值被改变。如果设置输出命令的是数据寄存器，或光标正在应用命令位置并且 D、V 或 Z 当前可用，该功能同样可被执行。在这种情况下，元件号可被改变。

注意：本功能在 PC 中的程序必须与在 PLC 中的程序一致且 PLC 的内存为 RAM 或 EEP-

ROM 时才可执行。另外，该功能仅仅在监控线路图时有效。

7. 选项操作

当计算机屏幕处于打开新文件状态时，将光标指向选择“选项”位置，此时计算机屏幕显示如图 6-82 所示。在此状态下，可进行选项操作。



图 6-82　选择“选项”时的屏幕显示

（1）程序检查

功能：检查语法、双线圈及创建的应用程序电路图并显示结果。

1）语法检查：检验命令码及其格式。

2）双线圈检验：检查同一元件或显示顺序输出命令的重复使用情况。

3）电路错误检查：检查梯形图电路中的缺陷。

操作方法：执行“选项”→“程序检查”菜单操作，在“程序检查”对话框中进行设置，再单击确认按钮或按 Enter 键，命令被执行。“程序检查”对话框如图 6-83 所示。

注意：如果在“双线圈检查”或“线路检查”时检出错误，并不一定导致 PLC 或操作方面的错误。特别是在 PLC 方面，双线圈并不都认为是错误的，在步进梯形图中，它是被允许的或有特殊用途。

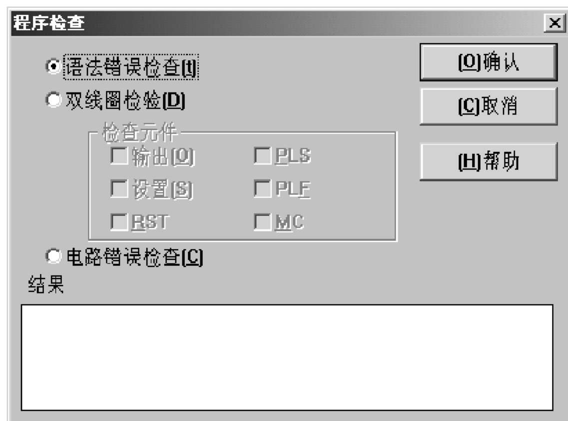


图 6-83　“程序检查”对话框

（2）EPROM 传送

功能：传送应用程序至与计算机 RS－232C 端口相连的 ROM 写入器，包括“设置”、“读入”、“写出”和“核对”。

1）设置：设置与 ROM 写入器相连的跳向格式，它必须与 ROM 写入器方的设置相符。

2）读入：将 ROM 写入器上磁带盒中应用程序读出存入到计算机中。

3）写出：将存在计算机中的应用程序写入到 ROM 写入器的磁带盒中。

4）核对：将计算机中存储的应用程序与 ROM 写入器磁带盒中的内容加以比较。

操作方法：执行“选项”→“EEPROM 传送”→“设置”或“读入”或“写出”或“核对”菜单操作。当选中“读入”时，在“PC 模式设置”对话框中设置被连接的 PLC 模式。

注意：ROM 写入器必须能提供 RS－232 传送功能，并支持相应格式；ROM 写入器的传送格式为十六进制；当使用 EPROM－8 型 ROM 磁带盒时，需要 ROM 适配器。

第 7 章　三菱 FX 系列网络及计算机通信

只要两个系统之间存在着信息的交换，那么这种交换就是通信。PLC 与计算机、PLC 与外围设备、PLC 与 PLC 之间的通信统称为 PLC 通信。PLC 通信的任务就是将地理位置不同的 PLC、计算机、各种现场设备等，通过通信介质连接起来，按照规定的通信协议，以某种特定的通信方式高效率地完成数据的传送、交换和处理。

7.1　PLC 数据通信和网络基础

7.1.1　PLC 通信基础

1. 通信系统

一个通信系统由硬件（发送设备、接收设备、控制设备和通信介质等）及软件（通信协议和通信软件）组成。通信系统的组成示意图如图 7-1 所示。

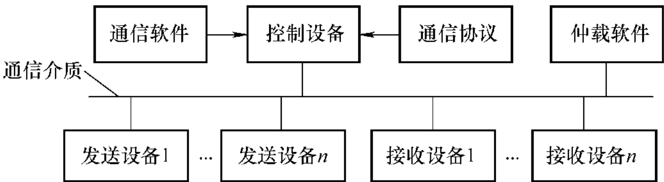


图 7-1　通信系统的组成示意图

发送设备在发送数据的同时也可接收来自其他设备的信息。同样地，接收设备在接收数据的同时，也可发送反馈信息。

控制设备按照通信协议和通信软件的要求，对发送和接收之间进行同步的协调，确保信息发送和接收的正确性和一致性。

通信介质是数据传输的信道。通信协议的作用主要是规定各种数据的传输规则，更有效率地利用通信资源，保持通信的顺畅。收发双方都必须严格遵守通信协议的各项规定。

通信软件则是人与通信系统之间的一个接口，使用者可以通过通信软件了解整个通信系统的运作情况，进而对通信系统进行各种控制和管理。本章主要介绍有关 PLC 的通信与工厂自动化通信网络方面的初步知识。

2. 通信方式

（1）并行通信与串行通信

数据通信主要有并行通信和串行通信两种方式。

1）并行通信特点：将多个数据位同时进行传输，传输的数据有多少位，就相应地有多少根传输线。并行通信传输示意图如图 7-2 所示。

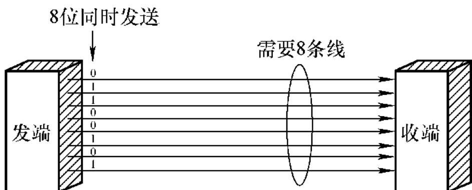


图 7-2　8 位数据并行通信传输示意图

并行通信是以字节或字为单位的数据传输方式，除了 8 根或 16 根数据线、1 根公共线外，还需要数据通信联络用的控制线。并行通信的传送速度快，但是传输线的根数多，成本高，一般用于近距离的数据传送。并行通信一般用于 PLC 的内部，如 PLC 内部元件之间、PLC 主机与扩展模块之间或近距离智能模块之间的数据通信。

2）串行通信特点：多位数据在一根数据线上顺序进行传送，其速度比并行通信要慢。电路简单，适合多数位、长距离通信。串行通信传输示意图如图 7-3 所示。

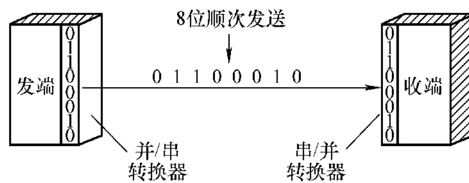


图 7-3　8 位数据串行通信传输示意图

串行通信是以二进制的位（bit）为单位的数据传输方式，每次只传送一位，除了地线外，在一个数据传输方向上只需要一根数据线，这根线既作为数据线又作为通信联络控制线，数据和联络信号在这根线上按位进行传送。串行通信需要的信号线少，最少的只需要两三根线，适用于距离较远的场合。计算机和 PLC 都备有通用的串行通信接口，工业控制中一般使用串行通信。串行通信多用于 PLC 与计算机之间、多台 PLC 之间的数据通信。

在串行通信中，传输速率常用比特率（每秒传送的二进制位数）来表示，其单位是比特/秒（bit/s）或 bps。传输速率是评价通信速度的重要指标。常用的标准传输速率有 300bit/s、600bit/s、1200bit/s、2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s 和 19200bit/s 等。不同的串行通信的传输速率差别极大，有的只有数百 bit/s，有的可达 100Mbit/s。

（2）单工通信与双工通信

串行通信按传输方向，可分为单工、半双工和全双工三种，如图 7-4 所示。

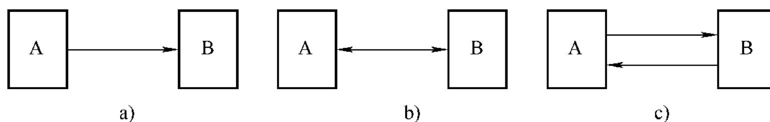


图 7-4　串行传输示意图
a）单工　b）半双工　c）全双工

单工通信方式只能沿单一方向发送或接收数据。双工通信方式的信息可沿两个方向传送，一个站既发送数据，也接收数据。

双工方式又分为全双工和半双工两种方式。数据的发送和接收分别由两根或两组不同的数据线传送，通信的双方都能在同一时刻接收和发送信息，这种传送方式称为全双工方式；用同一根线或同一组线接收和发送数据，通信的双方在同一时刻只能发送数据或接收数据，这种传送方式称为半双工方式。在 PLC 通信中常采用半双工和全双工通信。

（3）异步通信与同步通信

串行通信中发送设备与接收设备间要同步，否则会导致通信失败。它可分为同步和异步两种。

在串行通信中，通信的速率与时钟脉冲有关，接收方和发送方的传送速率应相同，但是实际的发送速率与接收速率之间总是有一些微小的差别，如果不采取一定的措施，在连续传送大量的信息时，将会因积累误差造成错位，使接收方收到错误的信息。为了解决这一问题，需要使发送和接收同步。按同步方式的不同，可将串行通信分为异步通信和同步通信。

异步通信的信息格式如图 7-5 所示，发送的数据字符由一个起始位、7 ~ 8 个数据位、1 个奇偶校验位（可以没有）和停止位（1 位、1. 5 位或 2 位）组成。通信双方需要对所采用的信息格式和数据的传输速率做相同的约定。接收方检测到停止位和起始位之间的下降沿后，将它作为接收的起始点，在每一位的中点接收信息。由于一个字符中包含的位数不多，即使发送方和接收方的收发频率略有不同，也不会因两台机器之间的时钟周期的误差积累而导致错位。异步通信传送附加的非有效信息较多，它的传输效率较低，一般用于低速通信，PLC 一般使用异步通信。

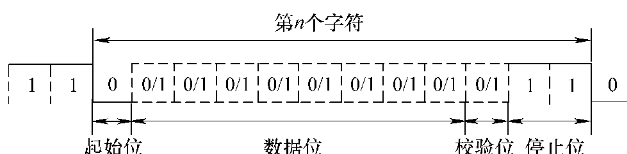


图 7-5　异步通信的信息格式

同步通信以字节为单位（一个字节由 8 位二进制数组成），每次传送一两个同步字符、若干个数据字节和校验字符。同步字符起联络作用，用它来通知接收方开始接收数据。在同步通信中，发送方和接收方要保持完全的同步，这意味着发送方和接收方应使用同一时钟脉冲。在近距离通信时，可以在传输线中设置一根时钟信号线。在远距离通信时，可以在数据流中提取出同步信号，使接收方得到与发送方完全相同的接收时钟信号。由于同步通信方式不需要在每个数据字符中加起始位、停止位和奇偶校验位，只需要在数据块（往往很长）之前加一两个同步字符，所以传输效率高，但是对硬件的要求较高，一般用于高速通信。

（4）基带传输与频带传输

基带传输是按照数字信号原有的波形（以脉冲形式）在信道上直接传输，它要求信道具有较宽的通频带。基带传输不需要调制解调，设备花费少，适用于较小范围的数据传输。基带传输时，通常对数字信号进行一定的编码，常用数据编码方法有非归零码 NRZ、曼彻斯特编码和差动曼彻斯特编码等。后两种编码因具有不含直流分量、包含时钟脉冲、便于双方自同步的特点，所以应用广泛。

频带传输是一种采用调制解调技术的传输形式。发送端通过调制手段，对数字信号进行某种变换，将代表数据的二进制 1 和 0 变换成具有一定频带范围的模拟信号，以适应在模拟信道上传输；接收端通过解调手段进行相反变换，把模拟的调制信号复原为 1 或 0。常用的调制方法有频率调制、振幅调制和相位调制。具有调制、解调功能的装置称为调制解调器，即 Modem。频带传输较复杂，传送距离较远，若通过市话系统配备 Modem，则传送距离可不受限制。

PLC 通信中，基带传输和频带传输两种传输形式都有采用，但多采用基带传输。

3. 通信介质

通信介质就是在通信系统中位于发送端与接收端之间的物理通路。通信介质一般可分为导向性和非导向性介质两种。导向性介质有双绞线、同轴电缆和光纤等，这种介质将引导信号的传播方向；非导向性介质一般通过空气传播信号，它不为信号引导传播方向，如短波、微波和红外线通信等。

以下仅简单介绍几种常用的导向性通信介质。

（1）双绞线

双绞线是一种廉价而又广为使用的通信介质，它由两根彼此绝缘的导线按照一定规则以螺旋状绞合在一起的，如图 7-6 所示。这种结构能在一定程度上减弱来自外部的电磁干扰及相邻双绞线引起的串音干扰。但在传输距离、带宽和数据传输速率等方面双绞线仍有其一定的局限性。

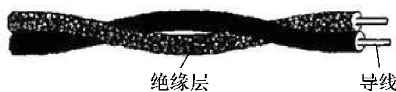
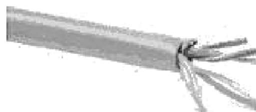


图 7-6　双绞线示意图

双绞线常用于建筑物内局域网数字信号传输。这种局域网所能实现的带宽取决于所用导线的质量、长度及传输技术。只要选择、安装得当，在有限距离内数据传输率达到 10Mbit/s。当距离很短且采用特殊的电子传输技术时，传输率可达 100Mbit/s。

在实际应用中，通常将许多对双绞线捆扎在一起，用起保护作用的塑料外皮将其包裹起来制成电缆。采用上述方法制成的电缆就是非屏蔽双绞线电缆，如图 7-7 所示。为了便于识别导线和导线间的配对关系，双绞线电缆中每根导线使用不同颜色的绝缘层。为了减少双绞线间的相互串扰，电缆中相邻双绞线一般采用不同的绞合长度。非屏蔽双绞线电缆价格便宜、直径小节省空间、使用方便灵活、易于安装，是目前最常用的通信介质。


图 7-7　非屏蔽双绞线电缆

美国电器工业协会（EIA）规定了六种质量级别的双绞线电缆，其中 1 类线档次最低，只适于传输语音；6 类线档次最高，传输频率可达到 250MHz。网络综合布线一般使用 3、4、5 类线。3 类线传输频率为 16MHz，数据传输率可达 10Mbit/s；4 类线传输频率为 20MHz，数据传输率可达 16Mbit/s；5 类线传输频率为 100MHz，数据传输率可达 100Mbit/s。

非屏蔽双绞线易受干扰，缺乏安全性。因此，往往采用金属包皮或金属网包裹以进行屏蔽，这种双绞线就是屏蔽双绞线。屏蔽双绞线抗干扰能力强，有较高的传输速率，100m 内可达到 155Mbit/s。但其价格相对较高，需要配置相应的连接器，使用时不是很方便。

（2）同轴电缆

同轴电缆由内层导体、绝缘层、外屏蔽层导体及外部保护层组成，如图 7-8 所示。内层导体是一层绝缘体包裹的单股实心线或绞合线（通常是铜制的），位于外层导体的中轴上；外屏蔽层导体是由绝缘层包裹的金属包皮或金属网。同轴电缆的最外层是能够起保护作用的塑料外皮。同轴电缆的外屏蔽层导体不仅能够充当导体的一部分，而且还起到屏蔽作用。这种屏蔽一方面能防止外部环境造成的干扰，另一方面能阻止内层导体的辐射能量干扰其他导线。

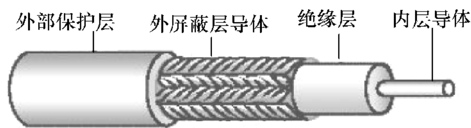


图 7-8　同轴电缆

与双绞线相比，同轴电线抗干扰能力强，能够应用于频率更高、数据传输速率更快的情况。对其性能造成影响的主要因素来自衰损和热噪声，采用频分复用技术时还会受到交调噪声的影响。虽然目前同轴电缆大量被光纤取代，但它仍广泛应用于有线电视和某些局域网中。

目前得到广泛应用的同轴电缆主要有 50Ω 电缆和 75Ω 电缆这两类。50Ω 电缆用于基带数字信号传输，又称基带同轴电缆。电缆中只有一个信道，数据信号采用曼彻斯特编码方

式，数据传输速率可达 10Mbit/s，这种电缆主要用于局域以太网。75Ω 电缆是 CATV 系统使用的标准，它既可用于传输宽带模拟信号，也可用于传输数字信号。对于模拟信号而言，其工作频率可达 400MHz。若在这种电缆上使用频分复用技术，则可以使其同时具有大量的信道，每个信道都能传输模拟信号。

（3）光纤

光纤是一种传输光信号的传输媒介。光纤的结构如图 7-9 所示，处于光纤最内层的纤芯是一种横截面积很小、质地脆、易断裂的光导纤维，制造这种纤维的材料可以是玻璃也可以是塑料。纤芯的外层裹有一个包层，它由折射率比纤芯小的材料制成。正是由于在纤芯与包层之间存在着折射率的差异，光信号才得以通过全反射在纤芯中不断向前传播。在光纤的最外层则是起保护作用的保护层。通常都是将多根光纤扎成束并裹以保护层制成多芯光缆。

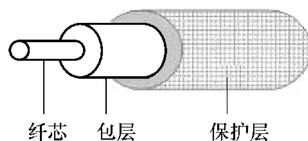


图 7-9　光纤的结构

从不同的角度考虑，光纤有多种分类方式。根据制作材料的不同，光纤可分为石英光纤、塑料光纤、玻璃光纤等；根据传输模式不同，光纤可分为多模光纤和单模光纤；根据纤芯折射率的分布不同，光纤可以分为突变型光纤和渐变型光纤；根据工作波长的不同，光纤可分为短波长光纤、长波长光纤和超长波长光纤。

单模光纤的带宽最宽，多模渐变光纤的次之，多模突变光纤的带宽最窄；单模光纤适于大容量远距离通信，多模渐变光纤适于中等容量中等距离的通信，而多模突变光纤只适于小容量的短距离通信。

在实际光纤传输系统中，还应配置与光纤配套的光源发生器件和光检测器件。目前最常见的光源发生器件是发光二极管（LED）和注入激光二极管（ILD）。光检测器件是在接收端将光信号转化成电信号的器件，目前使用的光检测器件有 PIN 光敏二极管和 APD 光敏二极管，光敏二极管的价格较便宜，APD 光敏二极管具有较高的灵敏度。

与一般的导向性通信介质相比，光纤具有很多优点：

1）光纤支持很宽的带宽，其范围大约在 10^{14} ~ 10^{15} Hz 之间，这个范围覆盖了红外线和可见光的频谱。

2）具有很快的传输速率，当前限制其所能实现的传输速率的因素来自信号生成技术。

3）光纤抗电磁干扰能力强。由于光纤中传输的是不受外界电磁干扰的光束，而光束本身又不向外辐射，因此它适用于长距离的信息传输及安全性要求较高的场合。

4）光纤衰减较小，中继器的间距较大。采用光纤传输信号时，在较长距离内可以不设置信号放大设备，从而减少了整个系统中继器的数目。

当然，光纤也存在一些缺点，如系统成本较高、不易安装与维护、质地脆易断裂等。

4. PLC 常用通信接口

PLC 通信主要采用串行异步通信，其常用的串行通信接口标准有 RS－232C、RS－422A 和 RS－485 等。PLC 主要是通过 RS－232、RS－422 和 RS－485 等通用通信接口进行联网通信的。若两台设备的通信接口不同，则要采用硬件设备进行接口类型的转换。

（1）RS－232 通信接口

RS－232 是数据终端设备与数据通信设备进行数据交换的接口。RS－232C 为 C 版本的 RS－232。

RS－232 接口物理连接器（插头）规定为25 芯插头，通常插头在数据终端设备（DTE）端，插座在数据通信设备（DCE）端。RS 是英文“推荐标准”的缩写，232 是标识号，C 表示此标准修改的次数。它既是一种协议标准，又是一种电气标准，规定了终端和通信设备之间信息交换的方式和功能，采用串行通信方式传送数据，比特率规定为 19200bit/s、9600bit/s、4800bit/s 等几种。

RS－232C 接口是标准的 25 针的 D 型连接器。RS－232C 采用负逻辑，具有较高的抗干扰能力，用－5～－15V 表示逻辑 1，用＋5V～＋15V 表示逻辑 0。噪声容限为 2V，即要求接收器能识别低至＋3V 的信号作为逻辑 0，高到－3V 的信号作为逻辑 1。RS－232C 只能进行一对一的通信，RS－232C 可使用 9 针或 25 针的 D 型连接器。表 7-1 列出了 RS－232C 接口各引脚信号的定义以及 9 针与 25 针引脚的对应关系。PLC 一般使用 9 针的连接器。

表 7-1　RS－232C 接口各引脚信号的定义

引脚号（9 针）	引脚号（25 针）	信号	方向	功　能
1	8	DCD	IN	数据载波检测
2	3	RxD	IN	接收数据
3	2	TxD	OUT	发送数据
4	20	DTR	OUT	数据终端装置（DTE）准备就绪
5	7	GND		信号公共参考地
6	6	DSR	IN	数据通信装置（DCE）准备就绪
7	4	RTS	OUT	请求传送
8	5	CTS	IN	清除传送
9	22	CI（RI）	IN	振铃指示

图 7-10a 所示为两台计算机都使用 RS－232C 直接进行连接的典型连接；图 7-10b 所示为通信距离较近时只需 3 根连接线。

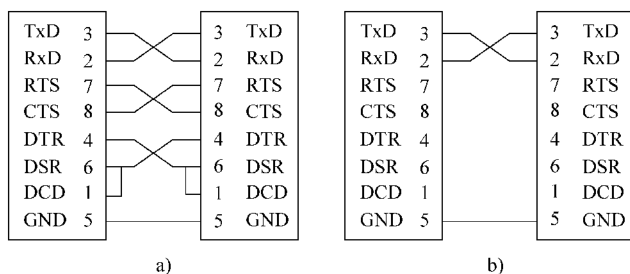


图 7-10　两个 RS－232C 数据终端设备的连接

图 7-11 所示 RS－232C 的电气接口采用单端驱动单端接收的电路，容易受到公共地线上的电位差和外部引入的干扰信号的影响，同时还存在以下不足之处：

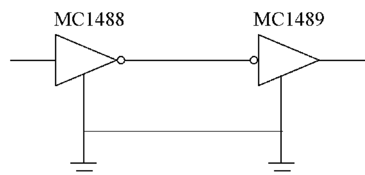


图 7-11　单端驱动单端接收的电路

1）传输速率较低，最高传输速率为 20kbit/s；

2）传输距离短，最大通信距离为 15m；

3）接口的信号电平值较高，易损坏接口电路的芯

片，又因为与 TTL 电平不兼容故需使用电平转换电路方能与 TTL 电路连接。

（2）RS－422 通信接口

针对 RS－232C 的不足，EIA 于 1977 年推出了串行通信标准 RS－499，对 RS－232C 的电气特性做了改进，RS－422A 是 RS－499 的子集。采用差动发送、差动接收的工作方式，发送器、接收器使用 +5V 的电源，因此在通信速率、通信距离、抗干扰能力等方面较 RS－232C 通信接口有很大的提高，其数据的传送速率可达 10Mbit/s，通信距离为 12～1200m。

如图 7-12 所示，由于 RS－422A 采用平衡驱动差分接收电路，从根本上取消了信号地线，大大减少了地电平所带来的共模干扰。平衡驱动器相当于两个单端驱动器，其输入信号相同，两个输出信号互为反相信号，图中的小圆圈表示反相。外部输入的干扰信号是以共模方式出现的，两极传输线上的共模干扰信号相同，因接收器是差分输入，共模信号可以互相抵消。只要接收器有足够的抗共模干扰能力，就能从干扰信号中识别出驱动器输出的有用信号，从而克服外部干扰的影响。

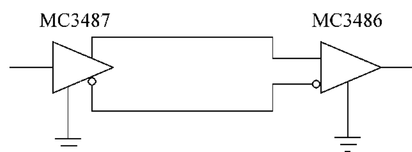


图 7-12　平衡驱动差分接收的电路

RS－422 在最大传输速率 10Mbit/s 时，允许的最大通信距离为 12m，传输速率为 100kbit/s 时，最大通信距离为 1200m。一台驱动器可以连接 10 台接收器。

（3）RS－485 通信接口

采用差分传输方式，抗共模干扰能力增强，输出阻抗低，并且无接地回路，适合于远距离数据传输。RS－485 是 RS－422 的变形，RS－422A 是全双工，两对平衡差分信号线分别用于发送和接收，所以采用 RS－422 接口通信时最少需要 4 根线。RS－485 为半双工，只有一对平衡差分信号线，不能同时发送和接收，最少只需两根连线。

如图 7-13 所示，使用 RS－485 通信接口和双绞线可组成串行通信网络，构成分布式系统，系统最多可连接 128 个站。

RS－485 的逻辑 1 以两线间的电压差为 +（2～6）V 表示，逻辑 0 以两线间的电压差为 -（2～6）V 表示。接口信号电平比 RS－232C 降低了，就不易损坏接口电路的芯片，且该电平与 TTL 电平兼容，可方便与 TTL 电路连接。由于 RS－485 接口具有良好的抗噪声干扰性、高传输速率（10Mbit/s）、长的传输距离（1200m）和多站能力（最多 128 站）等优点，所以在工业控制中广泛应用。

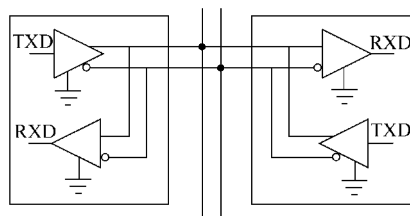


图 7-13　采用 RS－485 的网络

RS－422/RS－485 接口一般采用使用 9 针的 D 形连接器。普通微机一般不配备 RS－422 和 RS－485 接口，但工业控制微机基本上都有配置。图 7-14 所示为 RS－232C/RS－422 转换器的电路原理图。

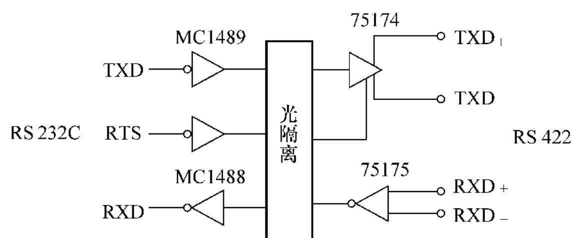


图 7-14　RS－232C/RS－422 转换器的电路原理图

5. 计算机通信标准

（1）开放系统互连模型

图 7-15 所示为开放系统互连（Open System Interconnection，OSI）参考模型，它是国际标准化组织（ISO）提出的通信网络国际标准化的参考模型，它详细描述了软件功能的 7 个层次。



图 7-15　开放系统互连（OSI）参考模型

1）物理层（Physical Layer）。物理层是为建立、保持和断开在物理实体之间的物理连接，提供机械的、电气的、功能性的和规程的特性。它是建立在传输介质之上，负责提供传送数据比特位 0 和 1 码的物理条件。同时，定义了传输介质与网络接口卡的连接方式以及数据发送和接收方式。常用的串行异步通信接口标准 RS－232C、RS－422 和 RS－485 等就属于物理层。

2）数据链路层（Datalink Layer）。数据链路层通过物理层提供的物理连接，实现建立、保持和断开数据链路的逻辑连接，完成数据的无差错传输。为了保证数据的可靠传输，数据链路层的主要控制功能是差错控制和流量控制。在数据链路上，数据以帧格式传输，帧是包含多个数据比特位的逻辑数据单元，通常由控制信息和传输数据两部分组成。常用的数据链路层协议是面向比特的串行同步通信协议——同步数据链路控制协议/高级数据链路控制协议（SDLC/HDLC）。

3）网络层（Network Layer）。网络层完成站点间逻辑连接的建立和维护，负责传输数据的寻址，提供网络各站点间进行数据交换的方法，完成传输数据的路由选择和信息交换的有关操作。网络层的主要功能是报文包的分段、报文包阻塞的处理和通信子网内路径的选择。常用的网络层协议有 X. 25 分组协议和 IP 协议。

4）传输层（Transport Layer）。传输层是向会话层提供一个可靠的端到端（end－to－end）的数据传送服务。传输层的信号传送单位是报文（Message），它的主要功能是流量控制、差错控制、连接支持。典型的传输层协议是因特网 TCP/IP 协议中的 TCP 协议。

5）会话层（Session Layer）。两个表示层用户之间的连接称为会话，对应会话层的任务就是提供一种有效的方法，组织和协调两个层次之间的会话，并管理和控制它们之间的数据交换。网络下载中的断点续传就是会话层的功能。

6）表示层（Presentation Layer）。表示层用于应用层信息内容的形式变换，如数据加密/解密、信息压缩/解压和数据兼容，把应用层提供的信息变成能够共同理解的形式。

7）应用层（Application Layer）。应用层作为参考模型的最高层，为用户的应用服务提

供信息交换，为应用接口提供操作标准。七层模型中所有其他层的目的都是支持应用层，它直接面向用户，为用户提供网络服务。常用的应用层服务有电子邮件（E－mail）、文件传输（FTP）和 Web 服务等。

OSI 7 层模型中，除了物理层和物理层之间可直接传送信息外，其他各层之间实现的都是间接的传送。在发送方计算机的某一层发送的信息，必须经过该层以下的所有低层，通过传输介质传送到接收方计算机，并层层上送直至到达接收方中与信息发送层相对应的层。

OSI 7 层参考模型只是要求对等层遵守共同的通信协议，并没有给出协议本身。OSI 7 层参考模型中，高 4 层提供用户功能，低 3 层提供网络通信功能。

（2）IEEE802 通信标准

IEEE802 通信标准是 IEEE（国际电工与电子工程师学会）的 802 分委员会从 1981 年至今颁布的一系列计算机局域网分层通信协议标准草案的总称。它把 OSI 参考模型的底部两层分解为逻辑链路控制子层（LLC）、媒体访问控制子层（MAC）和物理层。前两层对应于 OSI 模型中的数据链路层，数据链路层是一条链路（Link）两端的两台设备进行通信时所共同遵守的规则和约定。

IEEE802 的媒体访问控制子层对应于多种标准，其中最常用的为三种，即带冲突检测的载波侦听多路访问（CSMA/CD）协议、令牌总线（Token Bus）和令牌环（Token Ring）。

1）CSMA/CD 协议。CSMA/CD（Carrier－Sense Multiple Access with Collision Detection）通信协议的基础是 XEROX 公司研制的以太网（Ethernet），各站共享一条广播式的传输总线，每个站都是平等的，采用竞争方式发送信息到传输线上。当某个站识别到报文上的接收站名与本站的站名相同时，便将报文接收下来。由于没有专门的控制站，两个或多个站可能因同时发送信息而发生冲突，造成报文作废，因此必须采取措施来防止冲突。

为了防止冲突，可以采取两种措施：一种是发送报文开始的一段时间，仍然监听总线，采用边发送边接收的办法，把接收到的信息和自己发送的信息相比较，若相同则继续发送，称之为“边听边讲”；若不相同则发生冲突，立即停止发送报文，并发送一段简短的冲突标志。通常把这种“先听后讲”和“边听边讲”相结合的方法称为 CSMA/CD，其控制策略是竞争发送、广播式传送、载体监听、冲突检测、冲突后退和再试发送；另一种措施是准备发送报文的站先监听一段时间，如果在这段时间内总线一直空闲，则开始做发送准备，准备完毕，真正要将报文发送到总线上之前，再对总线做一次短暂的检测，若仍为空闲，则正式开始发送；若不空闲，则延时一段时间后再重复上述的二次检测过程。

2）令牌总线。令牌总线是 IEEE802 标准中的工厂媒质访问技术，其编号为 802.4。它吸收了 GM 公司支持的 MAP（Manufacturing Automation Protocol，制造自动化协议）系统的内容。

在令牌总线中，媒体访问控制是通过传递一种称为令牌的特殊标志来实现的。按照逻辑顺序，令牌从一个装置传递到另一个装置，传递到最后一个装置后，再传递给第一个装置，如此复始，形成一个逻辑环。令牌有“空”、“忙”两个状态，令牌网开始运行时，由指定站产生一个空令牌沿逻辑环传送。任何一个要发送信息的站都要等到令牌传给自己，判断为“空”令牌时才发送信息。发送站首先把令牌置成“忙”，并写入要传送的信息、发送站名和接收站名，然后将载有信息的令牌送入环网传输。令牌沿环网循环一周后返回发送站时，信息已被接收站复制，发送站将令牌置为“空”，送上环网继续传送，以供其他站使用。如

果在传送过程中令牌丢失，由监控站向网中注入一个新的令牌。

令牌传递式总线能在很重的负荷下提供实时同步操作，传送效率高，适于频繁、较短的数据传送，因此它最适合于需要进行实时通信的工业控制网络。

3）令牌环。令牌环媒质访问方案是 IBM 开发的，它在 IEEE802 标准中的编号为 802. 5，它有些类似于令牌总线。在令牌环上，最多只能有一个令牌绕环运动，不允许两个站同时发送数据。令牌环从本质上看是一种集中控制式的环，环上必须有一个中心控制站负责网的工作状态的检测和管理。

7. 1. 2　PLC 网络基础

1. 计算机网络的组成与分类

计算机网络是现代计算机技术和通信技术密切结合的产物，是随社会对信息的共享和信息传递的要求而发展起来的。所谓的计算机网络，就是利用通信设备和线路将地理位置不同的、功能独立的多个计算机系统相互连起来，以功能完善的网络软件（如网络通信协议、信息交换方式以及网络操作系统等）来实现网络中信息传递和资源共享的系统。

计算机网络有三个主要组成部分：若干个主机，它们为用户提供服务；一个通信子网，它主要由结点交换机和连接这些结点的通信链路所组成；一系列的协议，这些协议是为在主机和主机之间或主机和子网中各结点之间的通信而采用的，它是通信双方事先约定好的和必须遵守的规则。

网络分类的方法很多，如按网络拓扑结构分类，计算机网络可分为总线形结构、环形结构、星形结构、树形结构、网状结构五类。常用网络拓扑结构有三种：总线形拓扑结构、环形拓扑结构和星形拓扑结构，如图 7-16 所示。

拓扑结构是指点和线的几何排列或组成的几何图形。计算机网络的拓扑结构是指一个网络的通信链路和结点的几何排列或物理布局图形。链路是网络中相邻两个结点之间的物理通路，结点指计算机和有关的网络设备，甚至指一个网络。

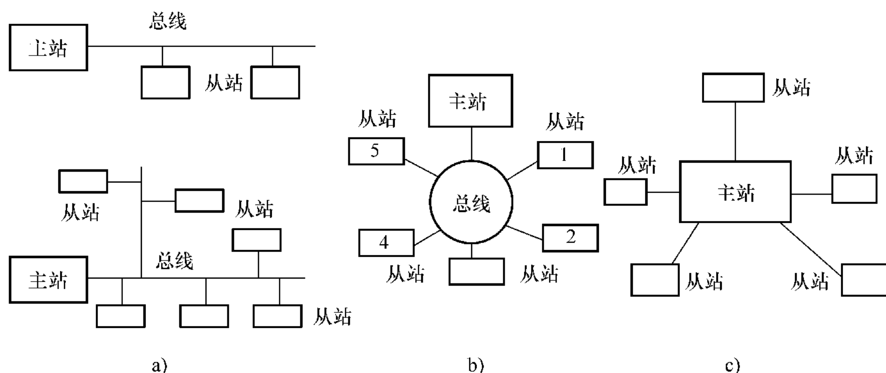


图 7-16　网络拓扑结构

a）总线形结构　b）环形结构　c）星形结构

总线形网络是一种比较简单的计算机网络结构，它采用一条称为公共总线的传输介质，将各计算机直接与总线连接，信息沿总线介质逐个结点广播传送。

环形网络将计算机连成一个环。在环形网络中，每台计算机按位置不同有一个顺序编号，在环形网络中信号按计算机编号顺序以“接力”方式传输。若计算机 1 欲将数据传输给计算机 4 时，必须先传送给计算机 2，计算机 2 收到信号后发现不是给自己的，于是再传给计算机 3，这样直到传送到计算机 4。

星形网络由中心结点和其他从结点组成，中心结点可直接与从结点通信，而从结点间必须通过中心结点才能通信。在星形网络中，中心结点通常由一种称为集线器或交换机的设备充当，因此网络上的计算机之间是通过集线器或交换机来相互通信的，是目前局域网最常见的方式。

在实际应用中，上述三种类型的网络经常被综合应用，并形成互连网。互连网是指将两个或两个以上的计算机网络连接而成的更大的计算机网络。

2. PLC 联网的主要形式

1）以个人计算机为主站，多台同型号的 PLC 为从站，组成简易集散控制系统。在这种系统中，个人计算机充当操作站，实现显示、报警、监控、编程和操作等功能，而多台 PLC 负责控制任务。

2）以一台 PLC 作为主站，其他多台同型号 PLC 作为从站，构成主从式 PLC 网络。在主站 PLC 上配置触摸屏和打印机，以便完成操作站的各项功能。

3）一些公司为自己生产的 PLC 设计专用的 PLC 网络，如三菱公司的 MELSECNET/Ⅱ、MELSECNET/B、MELSECNET/10 等。

4）把 PLC 网络通过特定的网络接口连入大型集散系统中去，成为它的子网。

3. 生产金字塔结构与工厂计算机控制系统模型

（1）生产金字塔结构

PLC 制造厂家常用生产金字塔（Productivity Pyramid，PP）结构来描述它的产品能提供的功能。图 7-17 所示为美国 A－B 公司和德国 SIEMENS 公司的生产金字塔。这些金字塔的共同特点是：在工厂自动化系统中，由上到下，各层都发挥着作用，上层负责生产管理，下层负责现场控制与检测，中间层负责生产过程的监控及优化。

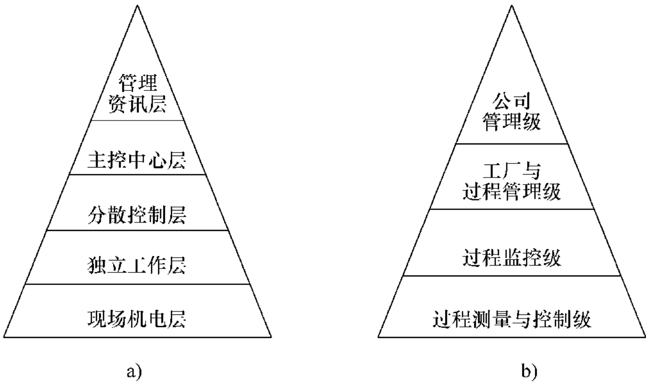


图 7-17　生产金字塔结构示意图
a）A－B 公司的生产金字塔　b）SIEMENS 公司的生产金字塔

（2）工厂计算机控制系统模型

美国国家标准局曾为工厂计算机控制系统提出过一个如图 7-18 所示的 NBS 模型，它分

为 6 级，并规定了每一级应当实现的功能。这一模型获得了国际广泛的承认。

国际标准化组织（ISO）对企业自动化系统的建模进行了一系列研究，也提出了一个如图 7-19 所示的 6 级模型。尽管它与 NBS 模型各级内涵，特别是高层内涵有所差别，但两者在本质上是相同的，这说明现代工业企业自动化系统应当是一个既负责企业管理经营又负责控制监控的综合自动化系统。它的高 3 级负责经营管理，低 3 级负责生产控制与过程监控。

Corporate	公司级
Plant	工厂级
Area	区间级
Cell/Supervisory	单元/监控级
Equipment	设备级
Device	装置级

图 7-18　NBS 模型

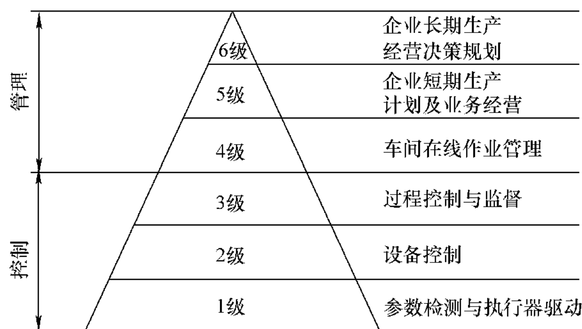


图 7-19　ISO 企业自动化模型

4. PLC 网络的拓扑结构

PLC 及其网络发展到现在，已经能够实现 NBS 或 ISO 模型要求的大部分功能，至少可以实现 4 级以下 NBS 模型或 ISO 模型功能。

PLC 要提供金字塔功能或者说要实现 NBS 或 ISO 模型要求的功能，采用单层子网显然是不行的。因为不同层所实现的功能不同，所承担的任务的性质不同，导致它们对通信的要求也就不一样。在上层所传送的主要是些生产管理信息，通信报文长，每次传输的信息量大，要求通信的范围也比较广，但对通信实时性的要求却不高。而在底层传送的主要是些过程数据及控制命令，报文不长，每次通信量不大，通信距离也比较近，但对实时性及可靠性的要求却比较高。中间层对通信的要求正好居于两者之间。

由于各层对通信的要求相差甚远，如果采用单级子网，只配置一种通信协议，势必顾此失彼，无法满足所有各层对通信的要求。只有采用多级通信子网，构成复合型拓扑结构，在不同级别的子网中配置不同的通信协议，才能满足各层对通信的不同要求。

5. PLC 网络各级子网通信协议配置的规律

PLC 网络各级子网通信协议配置的规律如下：

1）PLC 网络通常采用 3 级或 4 级子网构成的复合型拓扑结构，各级子网中配置不同的通信协议，以适应不同的通信要求。

2）在 PLC 网络中配置的通信协议分两类，一类是通用协议，一类是公司专用协议。

3）在 PLC 网络的高层子网中配置的通用协议主要有两种，一种是 MAP 规约（全 MAP3.0)，一种是 Ethernet 协议，这反映 PLC 网络标准化与通用化的趋势。PLC 网的互联，

PLC 网与其他局域网的互联将通过高层进行。

4）在 PLC 网络的低层子网及中间层子网采用公司专用协议。其底层由于传递过程数据及控制命令，这种信息很短，对实时性要求又较高，常采用周期 I/O 方式通信；中间层负责传送监控信息，信息长度居于过程数据及管理信息之间，对实时性要求也比较高，其通信协议常用令牌方式控制通信，也有采用主从方式控制通信的。

5）PC 加入不同级别的子网，必须按所连入的子网配置通信模板，并按该级子网配置的通信协议编制用户程序，一般在 PLC 中不需编制程序。对于协议比较复杂的子网，可购置厂家供应的通信软件装入 PC 中，将使用户通信程序编制变得比较简单方便。

6）PLC 网络低层子网对实时性要求较高，其采用的协议大多为塌缩结构，只有物理层、链路层及应用层；而高层子网传送管理信息，与普通网络性质接近，又要考虑异种网互联，因此高层子网的通信协议大多为 7 层。

7.1.3　三菱的 PLC 网络

三菱公司 PLC 网络继承了传统使用的 MELSECNET 网络，并使其在性能、功能、使用简便等方面更胜一筹。

1. MELSECNET 网络特点

1）具有构成多层数据通信系统能力。

2）可靠性。

3）良好的通信监测功能。

4）网络中有 1024 个通信继电器和 1024 个通信寄存器，可在所有站中适当地分配使用，便于用户编写通信程序。传输速度可达 1.25Mbit/s，这保证了 MELSECNET 网络的公共数据通信。

2. MELSEC NET 网络简介

三菱公司的 PLC 网络如图 7-20 所示。

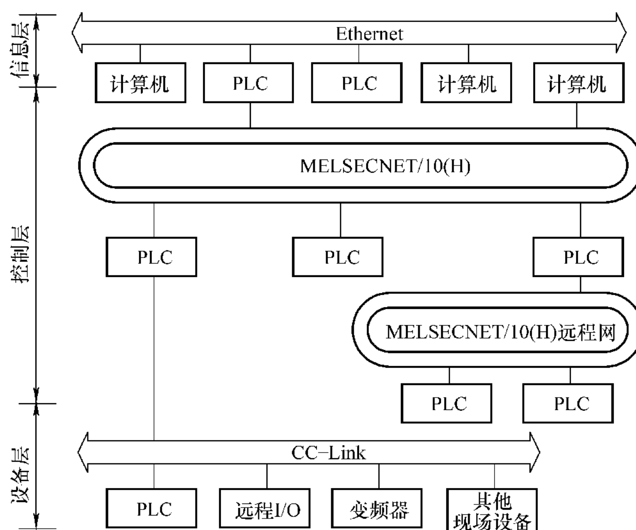


图 7-20　三菱公司的 PLC 网络

1）信息层。Ethernet（以太网）信息层为网络系统中最高层，主要是在 PLC、设备控制器以及生产管理用 PC 之间传输生产管理信息、质量管理信息及设备的运转情况等数据，信息层使用最普遍的 Ethernet。它不仅能够连接 Windows 系统的 PC、UNIX 系统的工作站等，而且还能连接各种工厂自动化设备。

2）控制层。MELSECNET/10（H）控制层是整个网络系统的中间层，是 PLC、CNC 等控制设备之间方便且高速地进行处理数据互传的控制网络。作为 MELSEC 控制网络的 MELSECNET/10，以它良好的实时性、简单的网络设定、无程序的网络数据共享概念，以及冗余回路等特点获得了很高的市场评价。而 MELSECNET/H 不仅继承了 MELSECNET/10 优秀的特点，还使网络的实时性更好，数据容量更大，进一步适应市场的需要。但目前 MELSECNET/H 只有 Q 系列 PLC 才可使用。

3）设备层。现场总线 CC－Link 设备层是把 PLC 等控制设备和传感器以及驱动设备连接起来的现场网络，为整个网络系统最低层的网络。采用 CC－Link 现场总线连接，布线数量大大减少，提高了系统可维护性。而且它不仅可连接开关设备，还可连接 ID 系统、条形码阅读器、变频器、人机界面等智能化设备，从而完成各种数据的通信。

在三菱的 PLC 网络中进行通信时，不会感觉到有网络种类的差别和间断，可进行跨网络的数据通信和程序的远程监控、修改、调试等工作，而无须考虑网络的层次和类型。

MELSECNET/H 和 CC－Link 使用循环通信的方式，周期性自动地收发信息，不需要专门的数据通信程序，只需简单的参数设定即可。MELSECNET/H 和 CC－Link 是使用广播方式进行循环通信发送和接收的，这样就可做到网络上的数据共享。

7.2　PLC 的通信

三菱公司 FX 系列 PLC 具有很强的通信功能。FX 系列 PLC 采用通信模块来完成与主计算机、其他 PLC 或其他智能控制设备（如变频器、打印机等）之间的通信。

PLC 的数据通信模块就相当于局域网络的网络接口（又称结点）。PLC 的数据通信模块中有通信处理机、内存储器、输出串行接口及双端口存储器 RAM。编程器可直接在通信模块上对其编程。每种可编程序控制器都不止一种通信模块。不同的通信模块中执行的通信协议不同，可连接的 PLC 的规格不同，可挂接的 PLC 网络的层次、类型不同。

FX 系列 PLC 的通信方式根据通信协议的不同分为以下几种类型：

（1）PLC 的 N:N 通信

PLC 的 N:N 通信，即 N:N 链接通信，用于 PLC 与 PLC 之间构成的小系统的数据传输。采用 RS－485 通信接口在 FX 系列 PLC 之间进行简单的数据链接，实现多机通信互联，常用于生产过程中的集散控制与集中管理等方面。

（2）PLC 双机并联通信

PLC 双机并联通信，即并行链接（Parallel Link）通信，用于 2 台 PLC 之间最多 100 个特殊辅助继电器和 10 个数据寄存器的数据传输，它们之间的数据传输是采用对这些辅助继电器和数据寄存器的操作进行的。FX2N 系列 PLC 可以采用 FX2N－485－BD 内置通信板和专用通信电缆连接实现两台 PLC 的并行通信。

（3）PLC 与计算机专有协议通信

PLC 与计算机专有协议通信，即计算机链接（Computer Link）通信。它有两种结构形式：一种是 PC 与 PLC 一对一的通信；另一种是把 PLC 连接成基于 RS－485（422）标准的小规模网络通信系统，进行集中管理、分散控制。1 台计算机与达到最多 16 台 PLC（1∶N）链接，按照专有协议（Dedicated Protocol）通信，无须梯形图，计算机直接读写操纵 PLC 的通信协议方式进行数据传输。PC 带有 RS－232C 通信接口，需经过 RS－232C/RS－485 的转换模块与 PLC 连接。

（4）PLC 与计算机无协议通信

无协议（No Protocol ）通信方式也称 RS 指令通信。采用具备 RS－422 通信接口或RS－485 通信接口的各种设备，以无协议的方式进行数据交换，对于 PLC 只需采用 RS 指令编写的梯形图即可实现通信。常用于 PLC 与带有 RS－232C 接口的设备，如个人计算机、条码阅读器、打印机和各种智能仪表等串口设备之间的数据交换。

7.2.1　PLC 的 N∶N 通信

N∶N 链接通信协议用于最多 8 台 FX 系列 PLC 的辅助继电器和数据寄存器之间的数据的自动交换，其中一台为主站，其余的为从站。图 7-21 所示为 N∶N 网络数据传输示意图。

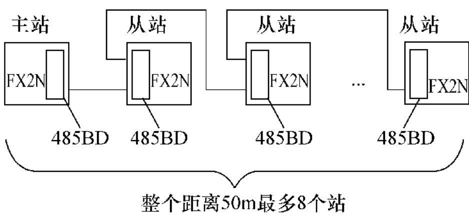


图 7-21　N∶N 网络数据传输示意图

N∶N 网络中的每一台 PLC 都在其辅助继电器区和数据寄存器区分配有一块用于共享的数据区，这些辅助继电器和数据寄存器如表 7-2 和表 7-3 所示。数据在确定的刷新范围内自动在 PLC 之间进行传送，刷新范围内的设备可由所有的站监视。但数据写入和 ON/OFF 操作只在本站内有效。因此，对于某一台 PLC 的用户程序来说，在使用其他站自动传来的数据时，就如同读写自己内部的数据区一样方便。

表 7-2　N∶N 网络链接时相关的辅助继电器

属性	特殊辅助继电器	名称	说明	响应类型
只写	M8038	N∶N 网络参数设定	用于 N∶N 网络参数设定	主站，从站
只读	M8063	网络参数错误	当主站参数错误时置 ON	主站，从站
只读	M8183	主站通信错误	主站通信错误时置 ON①	从站
只读	M8184 ~ M8190②	从站通信错误	从站通信错误时置 ON①	主站，从站
只读	M8191	数据通信	当与其他站通信时置 ON	主站，从站

① 表示在本站中出现的通信错误数，不能在 CPU 出错状态、程序出错状态和停止状态下记录。

② 表示与从站号一致。例如，1 号站为 M8184，2 号站为 M8185，3 号站为 M8186。

表 7-3　N∶N 网络链接时相关的数据寄存器

属性	特殊数据寄存器	名称	说明	响应类型
只读	D8173	站号	存储从站的站号	主站，从站
只读	D8174	从站总数	存储从站总数	主站，从站
只读	D8175	刷新范围	存储刷新范围	主站，从站
只写	D8176	设定站数	设定本站号	主站，从站

（续）

属性	特殊数据寄存器	名称	说明	响应类型
只写	D8177	设定总从站数	设定从站总数	主站
只写	D8178	设定刷新范围	设定刷新范围	主站
读/写	D8179	设定重试次数	设定重试次数	主站
读/写	D8180	超时设定	设定命令超时	主站
只读	D8201	当前扫描时间存储	当前网络扫描时间	主站，从站
只读	D8202	最大扫描时间存储	最大网络扫描时间	主站，从站
只读	D8203	主站通信错误数	主站中通信错误数①	从站
只读	D8204 ~ D8210②	从站通信错误数	从站中通信错误数①	主站，从站
只读	D8211	主站通信错误码	主站中通信错误码	从站
只读	D8212 ~ D8218②	从站通信错误码	从站中通信错误码	主站，从站

① 表示在本站中出现的通信错误数，不能在 CPU 出错状态、程序出错状态和停止状态下记录。

② 表示与从站号一致。例如，1 号从站为 D8204、D8212，2 号从站为 D8205、D8213，3 号从站为 D8206、D8214。

1. N:N 链接网络的通信设置

N:N 网络的设置仅当程序运行或 PLC 通电时才有效，设置内容如下：

（1）工作站号设置（D8176）

D8176 的设置范围为 0 ~ 7，主站应设置为 0，从站设置为 1 ~ 7。

（2）从站个数设置（D8177）

D8177 用于在主站中设置从站总数，从站中不须设置，设定范围为 0 ~ 7 之间的值。默认值为 7。

（3）刷新范围（模式）设置（D8178）

刷新范围是指在设定的模式下主站与从站共享的辅助继电器和数据寄存器的范围。刷新模式由主站的 D8178 来设置，可以设为 0、1 或 2 值（默认值为 0），分别代表 3 种刷新模式，从站中不需设置此值。表 7-4 所示是 D8178 对应的 3 种刷新模式，表 7-5 所示是 3 种模式设置所对应的 PLC 中辅助继电器和数据寄存器的刷新范围，这些辅助继电器和数据寄存器供各站的 PLC 共享。

例如，当 D8178 设置为模式 2 时，如果主站的 X001 要控制 7 号从站的 Y005，可以用主站的 X001 来控制它的 M1000。

通过通信，各从站中的 M1000 的状态与主站的 M1000 相同。用 7 号从站的 M1000 来控制它的 Y005，这就相当于用主站的 X001 来控制 7 号从站的 Y005。

表 7-4　N:N 网络的刷新模式

通信元件	刷新范围		
	模式 0	模式 1	模式 2
	FX_{0N}、FX_{1S}、FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{2NC}	FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{2NC}	FX_{1N}、FX_{2N}、FX_{2NC}
位元件	0 点	32 点	64 点
字元件	4 点	4 点	8 点

表 7-5　N:N 网络共享的辅助继电器和数据寄存器

站号	模式 0		模式 1		模式 2	
	位元件	4 点字元件	32 点位元件	4 点字元件	64 点位元件	8 点字元件
0	—	D0 ~ D3	M1000 ~ M1031	D0 ~ D3	M1000 ~ M1063	D0 ~ D7
1	—	D10 ~ D13	M1064 ~ M1095	D10 ~ D13	M1064 ~ M1127	D10 ~ D17
2	—	D20 ~ D23	M1128 ~ M1159	D20 ~ D23	M1128 ~ M1191	D20 ~ D27
3	—	D30 ~ D33	M1192 ~ M1223	D30 ~ D33	M1192 ~ M1255	D30 ~ D37
4	—	D40 ~ D43	M1256 ~ M1287	D40 ~ D43	M1256 ~ M1319	D40 ~ D47
5	—	D50 ~ D53	M1320 ~ M1351	D50 ~ D53	M1320 ~ M1383	D50 ~ D57
6	—	D60 ~ D63	M1384 ~ M1415	D60 ~ D63	M1384 ~ M1447	D60 ~ D67
7	—	D70 ~ D73	M1448 ~ M1479	D70 ~ D73	M1448 ~ M1511	D70 ~ D77

（4）重试次数设置（D8179）

D8179 用以设置重试次数，设定范围为 0 ~ 10（默认值为 3），该设置仅用于主站。当通信出错时，主站就会根据设置的次数自动重试通信。

（5）通信超时时间设置（D8180）

D8180 用以设置通信超时时间，设定范围为 5 ~ 255（默认值为 5），该值乘以 10ms 就是通信超时时间。该设置限定了主站与从站之间的通信时间。

2. N:N 网络通信举例

例 1：编制 N: N 网络参数的主站设定程序。

图 7-22 所示是 N: N 网络参数的主站设定程序。从站不需设定程序，数据在确定的刷新范围内自动在 PLC 之间进行传送（映像），不需编程。

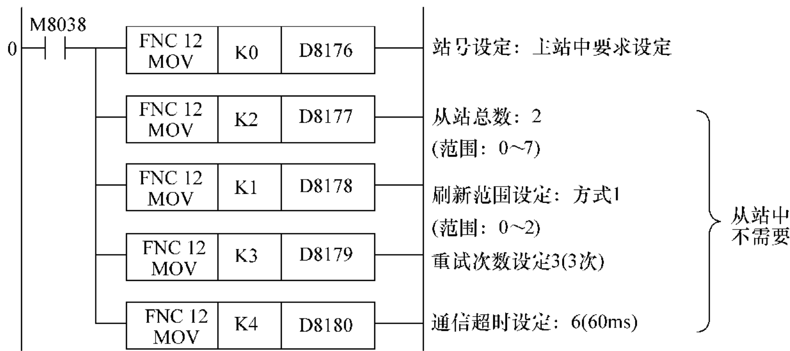


图 7-22　N: N 网络参数的主站设定程序

例 2：有 3 台 FX2N 系列 PLC 通过 N: N 并行通信网络交换数据，设计其通信程序。

该网络的系统配置如图 7-23 所示。

该并行网络的初始化设定程序的要求如下：

1）刷新范围：32 位元件和 4 字元件（模式 1）。

2）重试次数：3 次。

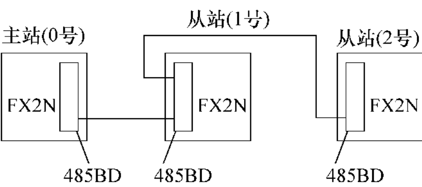


图 7-23　1∶2 PLC 并行网络连接

3）通信超时：50ms。

该并行网络的通信操作要求如下：

1）通过 M1000 ~ M1003，用主站的 X000 ~ X003 来控制 1 号从站的 Y010 ~ Y013。

2）通过 M1064 ~ M1067，用 1 号从站的 X000 ~ X003 来控制 2 号从站的 Y014 ~ Y017。

3）通过 M1128 ~ M1131，用 2 号从站的 X000 ~ X003 来控制主站的 Y020 ~ Y023。

4）主站中的数据寄存器 D1 为 1 号从站计数器 C1 提供设定值。C1 的触点状态由 M1070 映射到主站的输出点 Y005。

5）主站中的数据寄存器 D2 为 2 号从站计数器 C2 提供设定值。C2 的触点状态由 M1140 映射到主站的输出点 Y006。

6）1 号从站 D10 的值和 2 号从站 D20 的值在主站相加，运算结果存放到主站的 D3 中。

7）主站中的 D0 和 2 号从站中 D20 的值在 1 号从站中相加，运算结果存入 1 号从站 D11。

8）主站中的 D0 和 1 号从站中 D10 的值在 2 号从站中相加，运算结果存入 2 号从站 D21。

解：设计满足上述通信要求的通信程序，首先应对主站、从站 1 和从站 2 的通信参数进行设置（见表 7-6），其主站的通信参数设定程序同例 1。

图 7-24 ~ 图 7-26 所示分别是主站、从站 1 和从站 2 的通信程序。

表 7-6　主站、从站 1 和从站 2 的通信参数设置

通信参数	主站	从站 1	从站 2	说明
D8176	K0	K1	K2	站号
D8177	K2			总从站数：2 个
D8178	K1			刷新范围：模式 1
D8179	K3			重试次数：3 次（默认）
D8180	K5			通信超时：50ms（默认）

7.2.2　PLC 双机并联通信

双机并行连接是指使用 RS－485 通信适配器或功能扩展板连接两台 FX 系列 PLC（1∶1 方式）以实现两 PLC 之间的信息自动交换（见图 7-27），其中一台 PLC 作为主站，另一台 PLC 作为从站。双机并行连接方式下，用户不需编写通信程序，只需设置与通信有关的参数，两台计算机之间就可以自动地传送数据。最多可以链接 100 点辅助继电器和 10 点数据寄存器的数据。

1∶1 并行连接有一般模式和高速模式两种，由特殊辅助继电器 M8162 识别模式：M8162 = OFF 时，并行连接为一般模式；M8162 = ON 时，并行连接为高速模式。

主从站分别由 M8070 和 M8071 继电器设定：M8070 = ON 时，该 PLC 被设定为主站；M8071 = ON 时，该 PLC 被设定为从站。

一般模式（M8162 = OFF）的通信示意图如图 7-28 所示。高速模式（M8162 = ON）的通信示意图如图 7-29 所示。

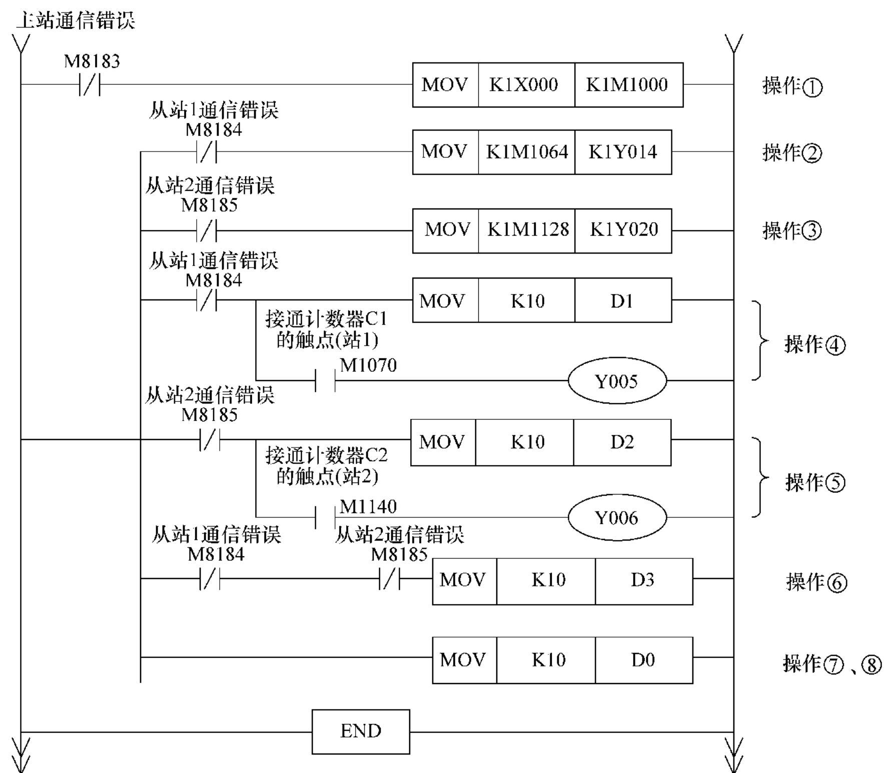


图 7-24　主站的通信程序

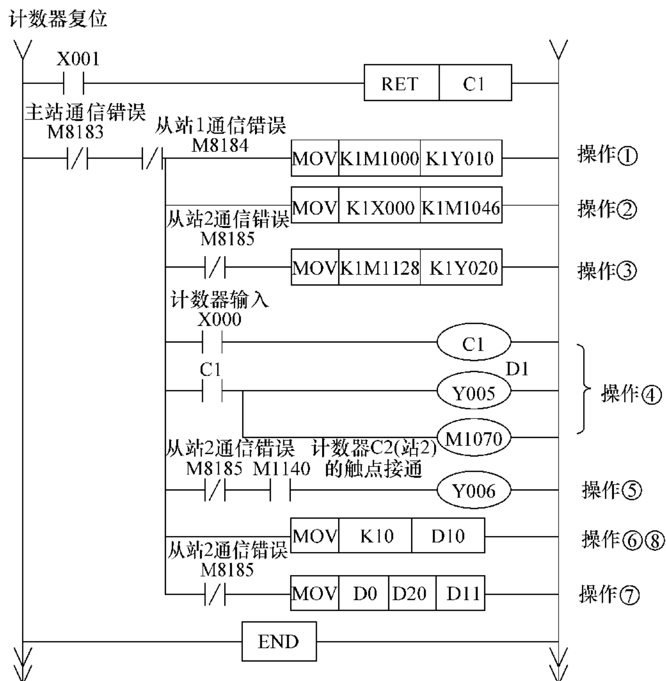


图 7-25　从站 1 的通信程序

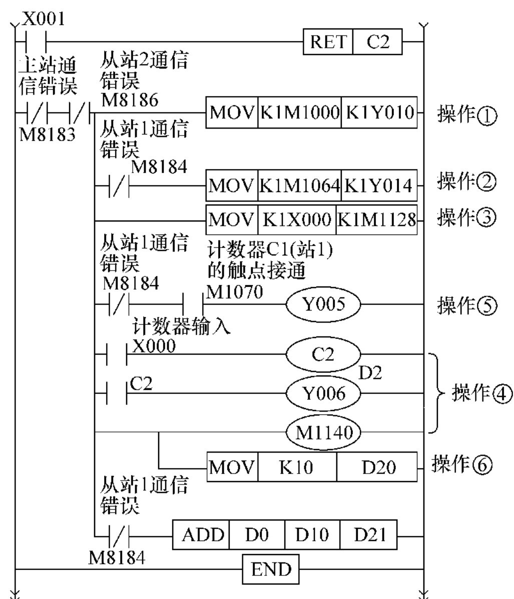


图 7-26　从站 2 的通信程序

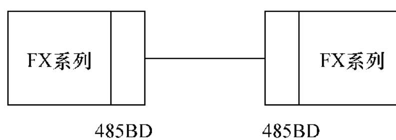


图 7-27　双机并行连接

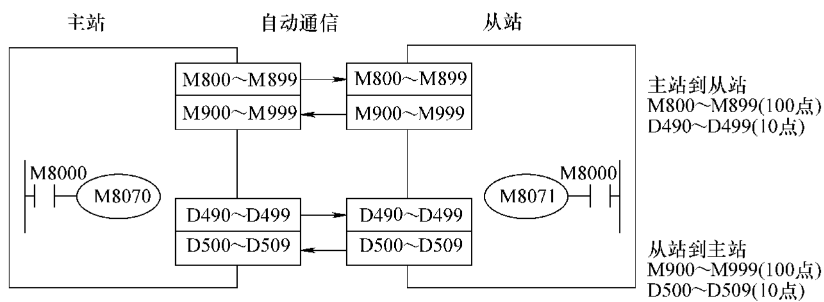


图 7-28　一般模式的通信示意图

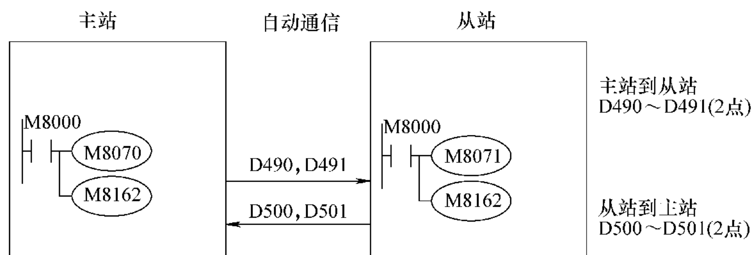


图 7-29　高速模式的通信示意图

例 3：2 台 FX2N 系列 PLC 通过 1∶1 并行连接通信网络交换数据，设计其一般模式的通信程序。通信操作要求为：

1）主站 X000 ~ X007 的 ON/OFF 状态通过 M800 ~ M807 输出到从站的 Y000 ~ Y007。

2）当主站计算结果（D0 + D2）≤100 时，从站的 Y010 变为 ON。

3）从站中的 M0 ~ M7 的 ON/OFF 状态通过 M000 ~ M007 输出到主站的 Y000 ~ Y007。

4）从站 D10 的值，用于设定主站的计时器（T0）值。

1∶1 并行连接一般模式通信程序如图 7-30 所示。

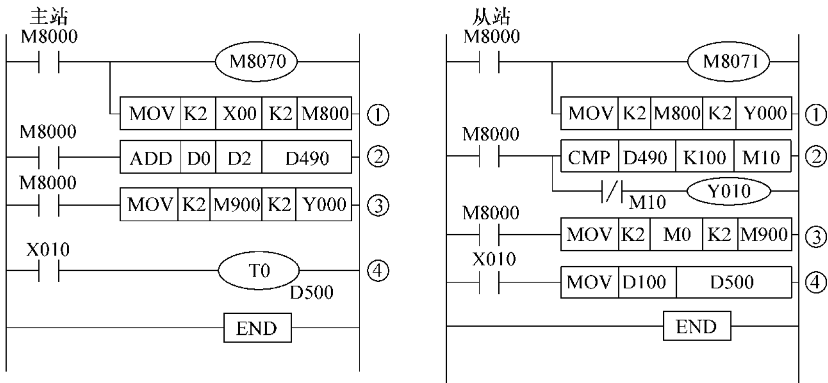


图 7-30　1∶1 并行连接一般模式通信程序

例 4：2 台 FX2N 系列 PLC 通过 1∶1 并行连接通信网络交换数据，设计其高速模式的通信程序。通信操作要求为：

1）当主站的计算结果≤100 时，从站 Y010 变 ON。

2）从站 D10 的值，用于设定主站的计时器（T0）值。

图 7-31 所示为 1∶1 并行连接高速模式通信程序。

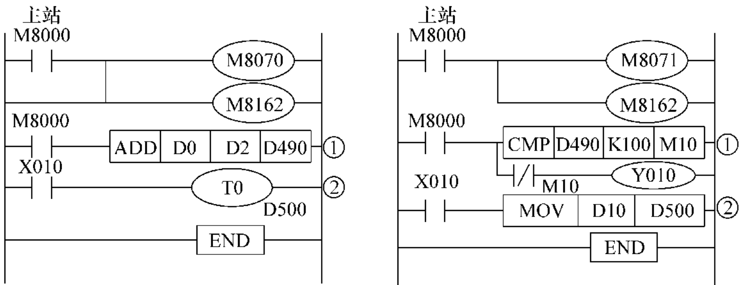


图 7-31　1∶1 并行连接高速模式通信程序

7.2.3　PLC 与计算机专有协议通信

为了实现 PC 与 PLC 的通信，用户应当做如下工作：

判别 PC 上配置的通信口是否与要连入的 PLC 匹配，若不匹配，则增加通信模板。

要清楚 PLC 的通信协议，按照协议的规定及帧格式编写 PC 的通信程序。PLC 中配有通

信机制，一般不需用户编程。若 PLC 厂家有 PLC 与 PC 的专用通信软件出售，则此项任务较容易完成。

选择适当的操作系统提供的软件平台，利用与 PLC 交换的数据编制用户要求的画面。

若要远程传送，可通过 Modem 接入电话网。若要 PC 具有编程功能，应配置编程软件。

1. PC 与 PLC 通信的条件

从原则上讲，PC 连入 PLC 网络并没有什么困难。只要为 PC 配备该种 PLC 网专用的通信卡以及通信软件，按要求对通信卡进行初始化，并编制用户程序即可。用这种方法把 PC 连入 PLC 网络存在的惟一问题是价格问题。在 PC 上配上 PLC 制造厂生产的专用通信卡及专用通信软件常会使 PC 的价格数倍甚至十几倍地升高。

用户普遍感兴趣的问题是，能否利用 PC 中已普遍配有的异步串行通信适配器加上自己编写的通信程序把 PC 连入 PLC 网络。

带异步通信适配器的 PC 与 PLC 通信并不一定行得通，只有满足如下条件才能实现通信：

1）只有带有异步通信接口的 PLC 及采用异步方式通信的 PLC 网络才有可能与带异步通信适配器的 PC 互联。同时还要求双方采用的总线标准一致，都是 RS－232C，或者都是 RS－422（RS－485），否则要通过“总线标准变换单元”变换之后才能互联。

2）要通过对双方的初始化，使比特率、数据位数、停止位数、奇偶校验都相同。

3）用户必须熟悉互联的 PLC 采用的通信协议，严格地按照协议规定为 PC 编写通信程序。在 PLC 一方不需用户编写通信程序。

满足上述三个条件，PC 就可以与 PLC 互联通信。如果不能满足这些条件，则应配置专用网卡及通信软件实现互联。

2. PC 与 PLC 互联的结构形式

用户把带异步通信适配器的 PC 与 PLC 互联通信时通常采用两种结构形式。一种为点对点结构，PC 的 COM 口与 PLC 的编程器接口或其他异步通信口之间实现点对点链接。另一种为多点结构，PC 与多台 PLC 共同连在同一条串行总线上。多点的结构则采用主从式存取控制方法，通常以 PC 为主站，多台 PLC 为从站，通过周期轮询进行通信管理。

3. PC 与 PLC 互联通信方式

主要介绍利用标准通信口或由用户自定义的自由通信口实现 PC 与 PLC 的通信。目前 PC 与 PLC 互联通信方式主要有以下几种：

1）通过 PLC 开发商提供的系统协议和网络适配器，构成特定公司产品的内部网络，其通信协议不公开。互联通信必须使用开发商提供的上位组态软件，并采用支持相应协议的外设。这种方式其显示画面和功能往往难以满足不同用户的需要。

2）购买通用的上位组态软件，实现 PC 与 PLC 的通信。这种方式除了要增加系统投资外，其应用的灵活性也受到一定的局限。

3）利用 PLC 厂商提供的标准通信口或由用户自定义的自由通信口实现 PC 与 PLC 互联通信。这种方式不需要增加投资，有较好的灵活性，特别适合于小规模控制系统。

4. PC 与 FX 系列 PLC 通信的实现

（1）硬件连接

一台 PC 可与一台或最多 16 台 FX 系列 PLC 通信，PC 与 PLC 之间不能直接连接。图

7-32a、b 所示为点对点结构的连接，图 7-32a 中是通过 FX－232AW 单元进行 RS－232C/RS－422 转换与 PLC 编程口连接，图 7-32b 中通过在 PLC 内部安装的通信功能扩展板 FX－232－BD 与 PC 连接；图 7-32c 所示为多点结构的连接，FX－485－BD 为安装在 PLC 内部的通信功能扩展板，FX－485PC－IF 为 RS－232C 和 RS－485 的转换接口。除此之外，还可以通过其他通信模块进行连接，这里不再一一赘述。下面以 PC 与 PLC 之间点对点通信为例。

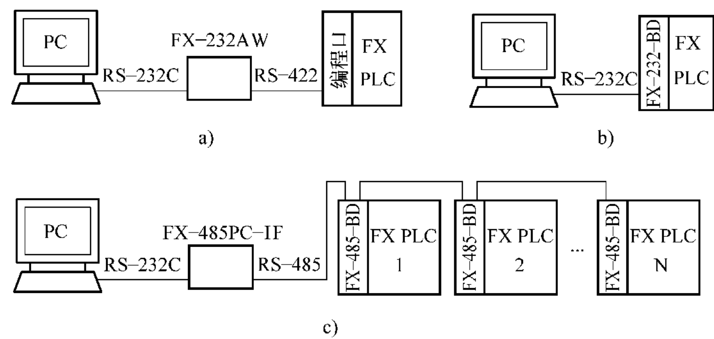


图 7-32　PC 与 FX 的硬件连接图

（2）FX 系列 PLC 通信协议

PC 中必须依据所连接 PLC 的通信规程来编写通信协议，所以先要熟悉 FX 系列 PLC 的通信协议。

1）数据格式。FX 系列 PLC 采用异步格式，由 1 位起始位、7 位数据位、1 位偶校验位及 1 位停止位组成，比特率为 9600bit/s，字符为 ASCII 码。数据格式如图 7-33 所示。

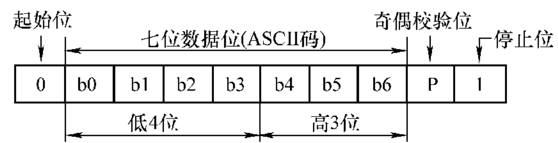


图 7-33　数据格式

2）通信命令。FX 系列 PLC 有 4 条通信命令，分别是读命令、写命令、强制通命令、强制断命令，如表 7-7 所示。

表 7-7　FX 系列 PLC 的通信命令

命令	命令代码	目标软继电器	功能
读命令	0 即 ASCII 码 30H	X、Y、M、S、T、C、D	读取软继电器状态、数据
写命令	1 即 ASCII 码 31H	X、Y、M、S、T、C、D	把数据写入软继电器
强制通命令	7 即 ASCII 码 37H	X、Y、M、S、T、C	强制某位 ON
强制断命令	8 即 ASCII 码 38H	X、Y、M、S、T、C	强制某位 OFF

3）通信控制字符。FX 系列 PLC 采用面向字符的传输规程，用到 5 个通信控制字符，如表 7-8 所示。

表 7-8　FX 系列 PLC 通信控制字符

控制字符	ASCII 码	功能说明
ENQ	05H	PC 发出请求
ACK	06H	PLC 对 ENQ 的确认回答
NAK	15H	PLC 对 ENQ 的否认回答
STX	02H	信息帧开始标志
ETX	03H	信息帧结束标志

注：当 PLC 对计算机发来的 ENQ 不理解时，用 NAK 回答。

4）报文格式。计算机向 PLC 发送的报文格式如下：

STX	CMD	数据段	ETX	SUMH	SUML

其中，STX 为开始标志 02H；ETX 为结束标志 03H；CMD 为命令的 ASCII 码；SUMH、SUML 为按字节求累加和，溢出不计。由于每字节十六进制数变为两字节的 ASCII 码，故校验和为 SUMH 与 SUML。

数据段格式与含义如下：

字节 1～字节 4	字节 5/字节 6	第 1 数据		第 2 数据		第 3 数据		……	第 *N* 数据	
软继电器首址	读/写字节数	上位	下位	上位	下位	上位	下位	……	上位	下位

注：写命令的数据段有数据，读命令的数据段则无数据。

PLC 向 PC 发的应答报文格式如下：

STX	数据段	ETX	SUMH	SCML

注：对读命令的应答报文数据段为要读取的数据，一个数据占两字节，分上位、下位。

数据段：

第 1 数据		第 2 数据		……	第 *N* 数据	
上位	下位	上位	下位	……	上位	下位

对写命令的应答报文无数据段，而用 ACK 及 NAK 作为应答内容。

5）传输规程。PC 与 FX 系列 PLC 间采用应答方式通信，传输出错，则组织重发。其传输过程如图 7-34 所示。

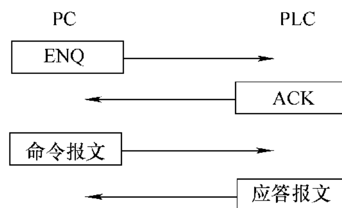


图 7-34　传输过程

PLC 根据 PC 的命令，在每个循环扫描结束处的 END 语句后组织自动应答，无须用户在 PLC 一方编写程序。

（3）PC 通信程序的编写

编写 PC 的通信程序可采用汇编语言编写，或采用各种高级语言编写，或采用工控组态软件，或直接采用 PLC 厂家的通信软件（如三菱的 MELSE MEDOC 等）

下面利用 VB6.0 以一个简单的例子来说明编写通信程序的要点。假设 PC 要求从 PLC 中读入从 D123 开始的 4 个字节的数据（D123、D124），其传输应答过程及命令报文如图 7-35 所示。

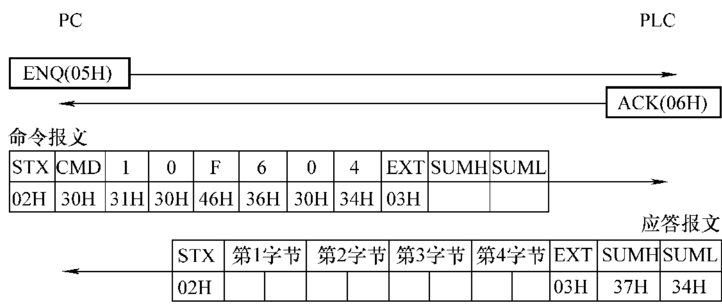


图 7-35　传输应答过程及命令报文

命令报文中 10F6H 为 D123 的地址，04H 表示要读入 4 个字节的数据。校验和 SUM = 30H + 31H + 30H + 46H + 36H + 30H + 34H + 03H = 174H，溢出部分不计，故 SUMH = 7，SUML = 4，相应的 ASCII 码为 37H、34H。应答报文中 4 个字节的十六进制数，其相应的 ASCII 码为 8 个字节，故应答报文长度为 12 个字节。

根据 PC 与 FX 系列 PLC 的传输应答过程，利用 VB 的 MSComm 控件可以编写如下通信程序实现 PC 与 FX 系列 PLC 之间的串行通信，以完成数据的读取。MSComm 控件可以采用轮询或事件驱动的方法从端口获取数据。在这个例子中使用了轮询方法。

① 通信口初始化

```
Private Sub Initialize ( )
MSComm1. CommPort  = 1
MSComm1. Settings = “9600, E, 7, 1”
MSComm1. InBufferSize = 1024
MSComml. OutBufferSize = 1024
MSComm1. InputLen = 0
MSComml. InputMode = comInputText
MSComm1. Handshaking = comNone
MSComm1. PortOpen = True
End Sub
```

② 请求通信与确认

```
Private Function MakeHandshaking ( )  As Boolean
Dim InPackage As String
MSComml. OutBufferCount = 0
MSComml. InBufferCount = 0
MSComml. OutPut = Chr (&H5)
Do
DoEvents
Loop Until MSComml. InBufferCount = 1
InPackage = Chr (&H6) Then
MakeHandShaking = True
Else
```

```
MakeHandshaking = False
End If
End Function
```

③ 发送命令报文

```
Private Sub SendFrame ( )
Dim Outstring As String
MSComml. OutBufferCount = 0
MSComml. InBufferCount = 0
Outstrin = Chr（&H2） + " on " + " 10F604 " + Chr（&H3） + " 74 "
MSComml. Output = Outstring
End Sub
```

④ 读取应答报文

```
Private Sub ReceiveFrame（ )
Dim Instring As String
Do
DoEvents
Loop Until MSComml. InBufferCount = 12
InString = MSComml. Inpult
End Sub
```

7.2.4　PLC 与计算机无协议通信

大多数 PLC 都有串行接口无协议通信指令，如 FX 系列的 RS 指令（RS 指令可参见 FX 系列 PLC 用户手册)。无协议通信方式可以实现 PLC 与各种有 RS－232C 接口的设备（如计算机、条形码阅读器和打印机）之间的通信，可采用无协议 RS－485 转换器实现。

由于 FX2N－485－BD 模块内没有缓冲内存，因此数据的接收和发送要通过由 RS 指令所确定的数据寄存器实现。使用 RS 指令的通信方式最为灵活，PLC 与 RS－232C 设备之间可以使用用户自定义的通信规约，但是 PLC 的编程工作量较大，对编程人员的要求较高。

7.3　现场总线技术

随着控制、计算机、通信、网络等技术的发展，信息交换沟通的领域正在迅速覆盖从工厂的现场设备层到控制、管理的各个层次，覆盖从工段、车间、工厂、企业乃至世界各地的市场。信息技术的飞速发展，引起了自动化系统结构的变革，逐步形成以网络集成自动化系统为基础的企业信息系统。现场总线就是顺应这一形势发展起来的新技术。

1. 现场总线概述

20 世纪 80 年代中期开始发展起来的现场总线已成为当今自动化领域技术发展的热点之一，它的出现，将给自动化领域带来又一次革命，标志着工业控制技术领域又一新时代的开始，并将对该领域的发展产生重要影响。

(1) 什么是现场总线

在工业控制系统中，按控制系统的体系结构分，主要有三大系统，即 PLC 控制系统、集散控制系统（Distributed Control System，DCS）和现场总线控制系统（Fieldbus Control System，FCS），而在 FCS 和 DCS 中也常有 PLC 的应用。FCS 与 PLC 及 DCS 之间有千丝万缕的联系，又存在着本质的差异。

根据 IEC61158 的定义，现场总线是安装在制造或过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。基金会现场总线（Foundation Fieldbus，FF）是目前最具发展前景、最具竞争力的现场总线之一。FF 的现场总线控制系统体系结构如图 7-36 所示。它有两种应用方式，分别用代码 H1 和 H2 表示。H1 方式主要用于代替直流 0 ~ 10mA 或 4 ~ 20mA 以实现数字传输，它的传输速度较低，每秒几千比特，但传输距离较远，可达 1900m，称为低速方式；H2 方式主要用于高性能的通信系统，它的传输速度高，达到 1Mbit/s，传输距离一般不超过 750m，称为高速方式。

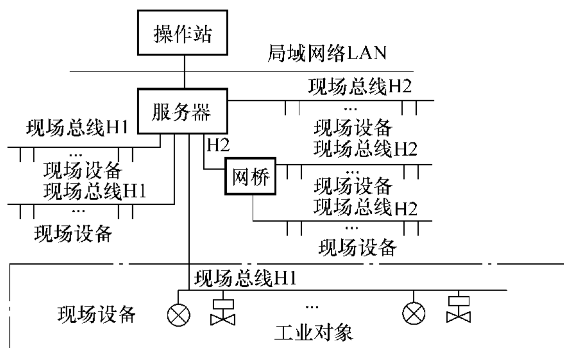


图 7-36　FF 的现场总线控制系统体系结构

FCS 实质是一种开放的、具有互操作性的、彻底分散的分布式控制系统。现场总线技术将通用或专用微处理器置入传统的测量控制仪表，使它们具有数字计算和数字通信能力，采用一定的通信介质作为总线，按照公开、规范的通信协议，在位于现场的多个微机化测量控制设备之间及现场仪表与远程监控计算机之间，实现数据传输与信息交换，形成适应实际需要的自控系统。简而言之，它把分散的测量控制设备变成网络结点，以现场总线为纽带，把它们连接成可以相互沟通信息、共同完成自控任务的网络系统。现场总线将控制功能彻底下放到现场，降低了安装成本和维护费用。

（2）现场总线的国际标准

1984 年 IEC（国际电工委员会）开始制定现场总线国际标准，最后于 2000 年 1 月 4 日 IEC/TC65（负责工业测量和控制的第 65 标准化技术委员会）通过了 8 种类型的现场总线作为新的 IEC61158 国际标准。

1）类型 1 IEC 技术报告（即 FF 的 H1）；

2）类型 2 ControlNet（美国 Rockwell 公司支持）；

3）类型 3 Profibus（德国 Siemens 公司支持）；

4）类型 4 P – Net（丹麦 Process Data 公司支持）；

5）类型 5 FF HSE（即原 FF 的 H2，Fisher – Rosemount 等公司支持）；

6）类型 6 SwiftNet（美国波音公司支持）；

7）类型 7 WorldFIP（法国 Alstom 公司支持）；

8）类型 8 Interbus（德国 Phoenix Conact 公司支持）。

加上 IEC TC17B 通过的 3 种现场总线国际标准，即 SDS（Smart Distributed System）、ASI（Actuator Sensor Interface）和 DeviceNet。此外，ISO 还有一个 ISO 11898 的 CAN（Control Area Network），所以一共有 12 种之多。

（3）现场总线的发展现状

1）多种总线共存。现场总线国际标准 IEC61158 中采用了 8 种协议类型和其他一些现场总线。每种总线都有其产生的背景和应用领域。不同领域的自动化需求各有其特点，因此在某个领域中产生的总线技术一般对本领域的满足度高一些，应用多一些，适用性好一些。

2）总线应用领域不断拓展。每种总线都力图拓展其应用领域，以扩张其势力范围。在一定应用领域中已取得良好业绩的总线，往往会进一步根据需要向其他领域发展。如 Profibus 在 DP 的基础上又开发出 PA，以适用于流程工业。

3）总线国际组织。大多数总线都成立了相应的国际组织，力图在制造商和用户中创造影响，以取得更多方面的支持，同时也想显示出其技术是开放的，如 WorldFIP 国际用户组织、FF 基金会、Profibus 国际用户组织、P－Net 国际用户组织及 ControlNet 国际用户组织等。

4）每种总线都以企业为支撑。各种总线都以一个或几个大型跨国公司为背景，公司的利益与总线的发展息息相关，如 Profibus 以 Siemens 公司为主要支持，ControlNet 以 Rockwell 公司为主要背景，WorldFIP 以 Alstom 公司为主要后台。

5）一个设备制造商参加多个总线组织。大多数设备制造商都积极参加不止一个总线组织，有些公司甚至参加 2～4 个总线组织。道理很简单，装置是要挂在系统上的。

6）各种总线相继成为自己国家或地区标准。每种总线大多将自己作为国家或地区标准，以加强自己的竞争地位。现在的情况是：P－Net 已成为丹麦标准，Profibus 已成为德国标准，WorldFIP 已成为法国标准。上述 3 种总线于 1994 年成为并列的欧洲标准 EN50170。其他总线也都成为各地区的技术规范。

7）在竞争中协调共存。协调共存的现象在欧洲标准制定时就出现过，欧洲标准 EN50170 在制定时，将德、法、丹麦 3 个标准并列于一卷之中，形成了欧洲的多总线的标准体系，后又将 ControlNet 和 FF 加入欧洲标准的体系。各重要企业，除了力推自己的总线产品之外，也都力图开发接口技术，将自己的总线产品与其他总线相连接，如施耐德公司开发的设备能与多种总线相连接。在国际标准中，也出现了协调共存的局面。

（4）现场总线的发展趋势

虽然现场总线的标准统一还有种种问题，但现场总线控制系统的发展却已经是一个不争的事实。随着现场总线思想的日益深入人心，基于现场总线的产品和应用的不断增多，现场总线控制系统体系结构日益清晰。具体发展趋势表现在以下几个方面：

1）网络结构趋向简单化。早期的 MAP 模型由 7 层组成，现在 Rockwell 公司提出了 3 层结构自动化，Fisher Rosemount 公司提出了 2 层自动化，还有的公司甚至提出 1 层结构，由以太网一通到底。目前比较达成共识的是 3 层设备、2 层网络的 3＋2 结构。3 层设备是位于底层的现场设备，如传感器/执行器以及各种分布式 I/O 设备等；位于中间的控制设备，如 PLC、工业在制计算机、专用控制器等；位于上层的是操作设备，如操作站、工程师站、数据服务器、一般工作站等。2 层网络是现场设备与控制设备之间的控制网，以及控制设备与操作设备之间的管理网。

2）大量采用成熟、开放和通用的技术。在管理网的通信协议上，越来越多的企业采用最流行的 TCP/IP 协议加以太网，操作设备一般采用工业 PC 甚至普通 PC，控制设备一般采用标准的 PLC 或者工业控制计算机等，而控制网络就是各种现场总线的应用领域。

由此可见，新型的现场总线控制系统与传统的控制系统（如 DCS、PLC）之间并不是完全取而代之的关系，而是继承、融合、提高的关系。

2. 现场总线的特点与优点

（1）现场总线的特点。

现场总线系统打破了传统控制系统的结构形式，其在技术上具有以下特点：

1）系统的开放性。现场总线致力于建立统一的工厂底层网络的开放系统。用户可根据自己的需要，通过现场总线把来自不同厂商的产品组成大小随意的开放互连系统。

2）互操作性与互用性。互操作性是指实现互连设备间、系统间的信息传送与沟通；而互用性则意味着不同生产厂家的性能类似的设备可实现相互替换。

3）现场设备的智能化与功能自治性。它将传感测量、补偿计算、工程量处理与控制等功能分散到现场设备中完成，仅依靠现场设备即可完成自动控制的基本功能，并可随时诊断设备的运行状态。

4）系统结构的高度分散性。现场总线构成一种新的全分散式控制系统的体系结构，从根本上改变了集中与分散相结合的 DCS 体系，简化了系统结构，提高了可靠性。

5）对现场环境的适应性。现场总线是专为现场环境而设计的，支持各种通信介质，具有较强的抗干扰能力，能采用两线制实现供电与通信，并可满足本质安全防爆要求等。

（2）现场总线的优点

由于现场总线系统结构的简化，使控制系统从设计、安装、投运到正常生产运行及检修维护，都体现出优越性。现场总线的优点如下：

1）节省硬件数量与投资。由于分散在现场的智能设备能直接执行多种传感、测量、控制、报警和计算功能，因而可减少变送器的数量，不再需要单独的调节器、计算单元等，也不再需要 DCS 系统的信号调理、转换、隔离等功能单元及其复杂接线，还可以用工控 PC 机作为操作站，从而节省了一大笔硬件投资，并可减少控制室的占地面积。

2）节省安装费用。现场总线系统的接线十分简单，一对双绞线或一条电缆上通常可挂接多个设备，因而电缆、端子、槽盒、桥架的用量大大减少，连线设计与接头校对的工作量也大大减少。当需要增加现场控制设备时，无须增设新的电缆，可就近连接在原有的电缆上，既节省了投资，又减少了设计、安装的工作量。有关典型试验工程的测算资料表明，可节约安装费用 60% 以上。

3）节省维护开销。现场控制设备具有自诊断与简单故障处理的能力，并通过数字通信将相关的诊断维护信息送往控制室，用户可以查询所有设备的运行，诊断维护信息，以便早期分析故障原因并快速排除，缩短了维护停工时间，同时由于系统结构简化，连线简单而减少了维护工作量。

4）用户具有高度的系统集成主动权。用户可以自由选择不同厂商所提供的设备来集成系统。避免因选择了某一品牌的产品而限制了使用设备的选择范围，不会为系统集成中不兼容的协议、接口而一筹莫展，使系统集成过程中的主动权牢牢掌握在用户手中。

5）提高了系统的准确性与可靠性。现场设备的智能化、数字化，与模拟信号相比，从根本上提高了测量与控制的精确度，减少了传送误差。简化的系统结构，设备与连线减少，现场设备内部功能加强，减少了信号的往返传输，提高了系统的工作可靠性。

此外，由于它的设备标准化，功能模块化，因而还具有设计简单、易于重构等优点。

3. CC - Link 现场总线

融合了控制与信息处理的现场总线 CC - Link（Control & Communication Link）是一种省配线、信息化的网络，它不但具备高实时性、分散控制、与智能设备通信、RAS 等功能，而且依靠与诸多现场设备制造厂商的紧密联系，提供开放式的环境。Q 系列 PLC 的 CC - Link 模块 QJ61BT11，在继承 A/QnA 系列特长的同时，还采用了远程设备站初始设定等方便的功能。

为了将各种各样的现场设备直接连接到 CC - Link 上，与国内外众多的设备制造商建立了合作伙伴关系，使用户可以很从容地选择现场设备，以构成开放式的网络。2000 年 10 月，Woodhead、Contec、Digital、NEC、松下电工、三菱等 6 家常务理事公司发起，在日本成立了独立的非盈利性机构“CC - Link 协会”（CC - Link Partner Association，CLPA），旨在有效地在全球范围内推广和普及 CC - Link 技术。到 2001 年 12 月，CLPA 成员数量为 230 多家公司，拥有 360 多种兼容产品。

（1）CC - Link 系统的构成

CC - Link 系统至少 1 个主站，可以连接远程 I/O 站、远程设备站、本地站、备用主站、智能设备站等总计 64 个站。CC - Link 站的类型如表 7-9 所示。

表 7-9　CC - Link 站的类型

CC - Link 站的类型	内　　容
主站	控制 CC - Link 上全部站，并需设定参数的站。每个系统中必须有 1 个主站，如 A/QnA/Q 系列 PLC 等
本地站	具有 CPU 模块，可以与主站及其他本地站进行通信的站，如 A/QnA/Q 系列 PLC 等
备用主站	主站出现故障时，接替作为主站，并作为主站继续进行数据链接的站，如 A/QnA/Q 系列 PLC 等
远程 I/O 站	只能处理位信息的站，如远程 I/O 模块、电磁阀等
远程设备站	可处理位信息及字信息的站，如 A/D、D/A 转换模块、变频器等
智能设备站	可处理位信息及字信息，而且也可完成不定期数据传送的站，如 A/QnA/Q 系列 PLC、人机界面等

CC - Link 系统可配备多种中继器，可在不降低通信速度的情况下，延长通信距离，最长可达 13.2km。例如，可使用光中继器，在保持 10Mbit/s 通信速度的情况下，将总距离延长至 4300m。另外，T 型中继器可完成 T 型连接，更适合现场的连接要求。

（2）CC - Link 的通信方式

1）循环通信方式。CC - Link 采用广播循环通信方式。在 CC - Link 系统中，主站、本地站的循环数据区与各个远程 I/O 站、远程设备站、智能设备站相对应，远程输入/输出及远程寄存器的数据将被自动刷新。而且，因为主站向远程 I/O 站、远程设备站、智能设备站发出的信息也会传送到其他本地站，所以在本地站也可以了解远程站的动作状态。

2）CC - Link 的链接元件。每一个 CC - Link 系统可以进行总计 4096 点的位，加上总计 512 点的字的数据的循环通信，通过这些链接元件以完成与远程 I/O、模拟量模块、人机界面、变频器等 FA（工业自动化）设备产品间高速的通信。

CC - Link 的链接元件有远程输入（RX）、远程输出（RY）、远程寄存器（RWw）和远

程寄存器（RWr）四种，如表 7-10 所示。远程输入（RX）是从远程站向主站输入的开/关信号（位数据）；远程输出（RY）是从主站向远程站输出的开/关信号（位数据）；远程寄存器（RWw）是从主站向远程站输出的数字数据（字数据）；远程寄存器（RWr）是从远程站向主站输入的数字数据（字数据）。

表 7-10　链接元件

项　　目		规　　格
整个 CC－Link 系统最大链接点数	远程输入（RX）	2048 点
	远程输出（RY）	2048 点
	远程寄存器（RWw）	256 点
	远程寄存器（RWr）	256 点
每个站的链接点数	远程输入（RX）	32 点
	远程输出（RY）	32 点
	远程寄存器（RWw）	4 点
	远程寄存器（RWr）	4 点

注：CC－Link 中的每个站可根据其类型，分别定义为 1 个、2 个、3 个或 4 个站，即通信量可为表 7-10 中“每个站的链接点数”的 1 ~4 倍。

3）瞬时传送通信。在 CC－Link 中，除了自动刷新的循环通信之外，还可以使用不定期收发信息的瞬时传送通信方式。瞬时传送通信可以由主站、本地站、智能设备站发起，可以进行以下处理：

① 某一 PLC 站读写另一 PLC 站的软元件数据。

② 主站 PLC 对智能设备站读写数据。

③ 用 GX Developer 软件对另一 PLC 站的程序进行读写或监控。

④ 上位 PC 等设备读写一台 PLC 站内的软元件数据。

（3）CC－Link 的特点

1）通信速度快。CC－Link 达到了行业中最高的通信速度（10Mbit/s），可确保需高速响应的传感器输入和智能化设备间的大容量数据的通信。可以选择对系统最合适的通信速度及总的距离，如表 7-11 所示。

表 7-11　CC－Link 通信速度和距离的关系

通信速度	10Mbit/s	5Mbit/s	2. 5Mbit/s	625kbit/s	156kbit/s
通信距离/m	≤100	≤160	≤400	≤900	≤1200

注：可通过中继器延长通信距离。

2）高速链接扫描。在只有主站及远程 I/O 站的系统中，通过设定为远程 I/O 网络模式的方法，可以缩短链接扫描时间。

表 7-12 所示为远程 I/O 站的系统所使用的远程 I/O 网络模式和有各种站点类型的系统所使用的远程网络模式（普通模式）的链接扫描时间的比较。

3）备用主站功能。使用备用主站功能时，当主站发生了异常时，备用主站接替作为主站，使网络的数据链接继续进行。而且在备用主站运行过程中，原先的主站如果恢复正常时，则将作为备用主站回到数据链路中。在这种情况下，如果运行中主站又发生异常，则备

用主站又将接替作为主站继续进行数据链接。

表 7-12 链接扫描时间的比较（通信速度为 10Mbit/s 时）

站　　数	链接扫描时间/ms	
	远程 I/O 网络模式	远程网络模式（普通模式）
16	1.02	1.57
32	1.77	2.32
64	3.26	3.81

4）CC－Link 自动起动功能。在只有主站和远程 I/O 站的系统中，如果无设定网络参数，当接通电源时，也可自动开始数据链接。默认参数为 64 个远程 I/O 站。

5）远程设备站初始设定功能。使用 GX Developer 软件，无须编写顺序控制程序，就可完成握手信号的控制、初始化参数的设定等远程设备站的初始化。

6）中断程序的起动（事件中断）。当从网络接收到数据，设定条件成立时，可以起动 CPU 模块的中断程序。因此，可以符合有更高速处理要求的系统。中断程序的起动条件，最多可以设定 16 个。

7）远程操作。通过连接在 CC－Link 中的一个 PLC 站上的 GX Developer 软件可以对网络中的其他 PLC 进行远程编程，也可通过专门的外围设备连接模块（作为一个智能设备站）来完成编程。

（4）CC－Link 现场总线的设置与编程

在基于 CC－Link 现场总线的应用过程中，最为重要的一部分便是对系统进行通信初始化设置。目前 CC－Link 通信初始化设置的方法一般有三种：

1）使用最基本的方法，即通过编程来设置通信初始化参数。

2）使用 CC－Link 通信配置的组态软件 GX－Configurator for CC－Link，采用通信初始化设置的方法。该组态软件可以对 A 系列和 QnA 系列的 PLC 进行组态，实现通信参数的设置，整个组态的过程十分简单，但目前该方法还不支持 Q 系列的 PLC。

3）使用 CC－Link 网络参数来实现通信参数设定。这是 Q 系列的 PLC 新增的功能，而 A 系列和 QnA 系列 PLC 并不具备这项功能。整个设置的过程相当方便。只要在 GPPW 软件的网络配置菜单中，设置相应的网络参数，远程 I/O 信号就可自动刷新到 CPU 内存，还能自动设置 CC－Link 远程元件的初始参数。如果整个 CC－Link 现场总线系统是由 Q 系列和 64 个远程 I/O 模块构成的，甚至不需设置网络参数即可自动完成通信设置的初试化。

7.4 三菱 PLC 网络在汽车总装线上的应用实例

1. 汽车总装线系统构成与要求

汽车总装线由车身储存工段、底盘装配工段、车门分装储存工段、最终装配工段、动力总成分装、合装工段、前梁分装工段、后桥分装工段、仪表板总装工段、发动机总装工段等构成。

车身储存工段是汽车总装的第一个工序，它采用 ID 系统进行车身型号和颜色的识别。在上件处，由 ID 读写器将车型和颜色代码写入安装在吊具上的存储载体内，当吊具运行到

各岔道处由 ID 读写器读出存储载体内的数据，以决定吊具进入不同的储存段。出库时，ID 读写器读出存储载体内的数据，以决定车身送到下一处或重新返回存储段。在下一处，清除存储载体的数据。在上下线间，应在必要的地方增加 ID 读写器，以确定车身信息，防止误操作。采用人机界面以分页方法显示该工段各工位的运行状况、车身存储情况、饱和程度、故障点等信息。

总装线的所有工段都分为自动操作和手动操作两种形式。自动时，全线由 PLC 程序控制；手动时，操作人员在现场进行操作。整条线在必要的工位应有急停及报警装置。

整个系统以三菱 PLC 及现场总线 CC－Link 为核心控制设备，采用接近开关或光电开关监测执行结构的位置，调速部分采用三菱 FR－E500 系列变频器进行控制，现场的各种控制信号及执行元件均通过 CC－Link 由 PLC 进行控制。

2. 系统配置

汽车总装线的系统配置如图 7-37 所示。

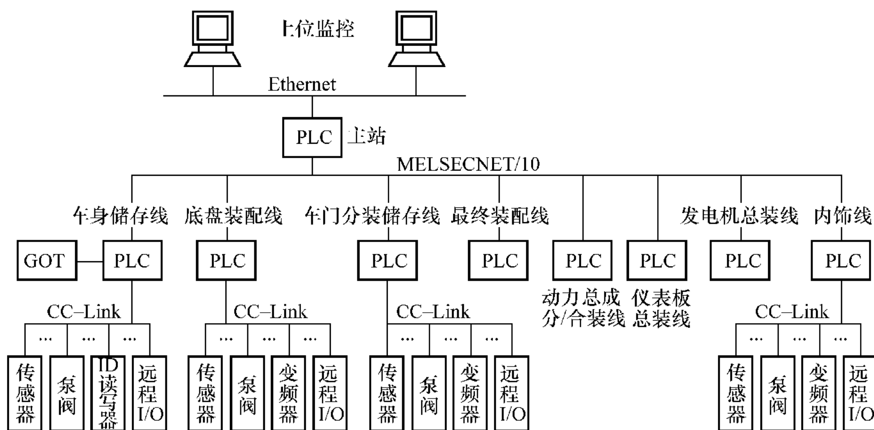


图 7-37　汽车总装线的系统配置

3. 系统功能

本总装线电控系统总体上采用“集中监管，分散控制”的模式，整个系统分三层，即信息层、控制层和设备层。

信息层由安装在中央控制室的操作员站和工程师站构成，操作员站的主要作用是向现场的设备及执行机构发送控制指令，并对现场的生产数据、运行状况和故障信息等进行收集监控；工程师站的主要作用是制定生产计划、管理生产信息。它们的连接采用通用的 Ethernet，并通过安装在 MELSECNET/10 网主站 PLC 上的 Ethernet 模块实现与设备控制层各 PLC 间的数据交换。在必要的时候，可以通过工程师站与管理层的计算机网络进行连接，使得管理者可以在办公室对所需要的信息进行查阅。

控制层采用三菱的 MELSECNET/10 网，将总装线各工段上（除前桥和后桥分装工段外）的 8 套 Q2AS PLC 相连接实现数据共享。它具有传输速度高（10Mbit/s）、编程简单（无须专用网络指令）、可靠性高、维护方便、信息容量大等特点。车身储存工段采用一台三菱 A975GOT 人机界面，实现对该工段现场信息的高速响应。

设备层采用四套 CC－Link，分别挂在车身储存工段、底盘装配工段、车门分装储存工段和内饰工段的 PLC 上。CC－Link 现场总线具有传输速度高（最高 10Mbit/s）、传输距离

长（1200m）、设定简单、可靠性高、维护方便、成本低等特点。它通过双绞线将现场的传感器、泵、阀、ID 读写器、变频器及远程 I/O 等设备连接起来，实现了分散控制集中管理。这样变频器的参数、报警信息等数据不但可以方便地由 PLC 进行读写，而且可由上位机和 GOT 通过 PLC 方便地进行监控和参数调整。使用 ID 读写器容易进行车体跟踪，减少了信息交流量，使生产线结构实现高度柔性化，并且有效地提高了自动化程度，节省人力资源。

4. 系统优点

（1）保持稳定的自动化生产

本系统内的任何设备发生故障，都不会影响其他操作、过程、设备的运行。即使此系统中的任何一个设备发生故障，甚至掉线，仅仅故障发生处的设备不能进行自动操作，其他所有设备都将连续工作。当故障排除后，设备能够自动恢复运行而不需将整条生产线重新上电。

（2）确保产品质量

生产数据被实时收集并监控，根据这些生产数据可进行必要的修补操作。这些生产数据（包括产品的质量信息）被保存在上位机中，并由上位机进行管理。

（3）维护方便

MELSECNET/10 网和 CC－Link 具有方便直观的维护功能，便于查清故障发生点及其原因，可迅速恢复系统的正常运行。上位机实时收集故障发生的原因、时间等历史数据，为以后的维护提供参考。

（4）提高系统的柔性

对操作内容及设备的增加或改变灵活地响应是这个系统的显著特点。MELSECNET/10 网和 CC－Link 具有预留的站的功能以及 Q2AS PLC 独特的结构化编程的理念，均可以方便地实现对系统生产内容改变的灵活响应。

（5）节省人力资源

系统较高的自动化程度有效地节省了人力资源，并极大地改善了操作者的工作环境。

第 8 章　PLC 控制系统开发应用

8.1　PLC 应用程序开发

8.1.1　PLC 应用程序开发要点

1. 复杂应用程序设计思路

实际的应用系统往往比较复杂，PLC 不仅输入/输出点数多，而且工作方式也多。例如，机械手有自动与手动方式，有单步、单周期和连续工作方式。设计复杂应用程序设计思路是将系统的程序按照工作方式和功能分成若干部分（若干程序模块），如公用程序、手动程序、自动程序、回原位程序等。为了便于编程，在设计软件时将手动程序和自动程序与回原位程序分别编出相对独立的程序模块，再用条件跳转指令进行选择。典型程序的总体结构如图 8-1 所示。

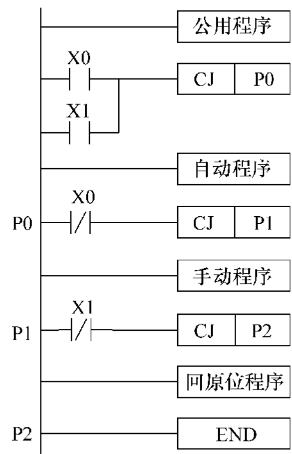


图 8-1　典型程序的总体结构

2. 掌握常见的典型单元程序的设计

实际工作中，PLC 应用程序往往是一些典型的控制环节和基本单元程序的组合，如果能熟练掌握这些典型控制环节和基本单元程序，在编制大型和复杂的应用程序时，可随意调用，使应用程序的设计变得简单。

8.1.2　典型单元程序的设计

本节主要介绍一些常见的典型单元梯形图程序。

1. 具有自锁、互锁功能的程序

（1）具有自锁功能的程序

电动机起保停的控制电路是梯形图中的最典型单元。利用自身的常开触点使线圈持续保持通电即 ON 状态的功能称为自锁。图 8-2 所示的起动、保持和停止程序（简称“起保停”程序）就是典型的具有自锁功能的梯形图。其中 X1 为起动信号，X2 为停止信号。

图 8-2a 所示为停止优先程序，即当 X1 和 X2 同时接通，则 Y1 断开。图 8-2b 所示为起动优先程序，即当 X1 和 X2 同时接通，则 Y1 接通。起保停程序也可以用置位（SET）和复位（RST）指令来实现。在实际应用中，起动信号和停止信号可能由多个触点组成的串、并联电路提供。

（2）具有互锁（联锁）功能的程序

利用两个或多个常闭触点来保证线圈不会同时通电的功能称为“互锁”。图 8-3a 中，Y000 与 Y001 只要有一个继电器线圈先接通，另一个继电器线圈就不能再接通，从而保证任何时候两者都不能同时起动。这种互锁常用于被控的一组不允许同时动作的对象，如电动机

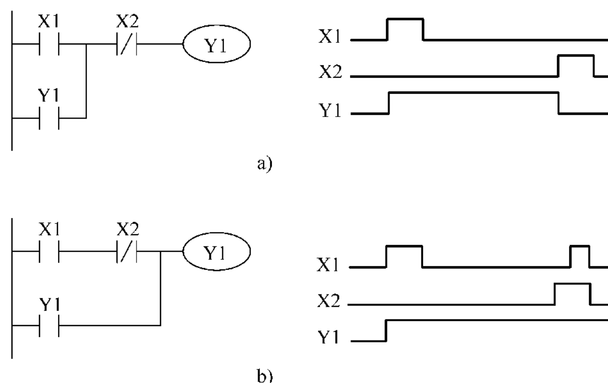


图 8-2　自锁功能的程序与时序图
a）停止优先　b）起动优先

的正反转控制电路。图 8-3b 所示为另一种联锁控制程序，只有当 Y000 接通时，Y001 才可能接通，只要 Y000 断开，Y001 就不可能接通，即一方的动作是以另一方的动作为前提的。

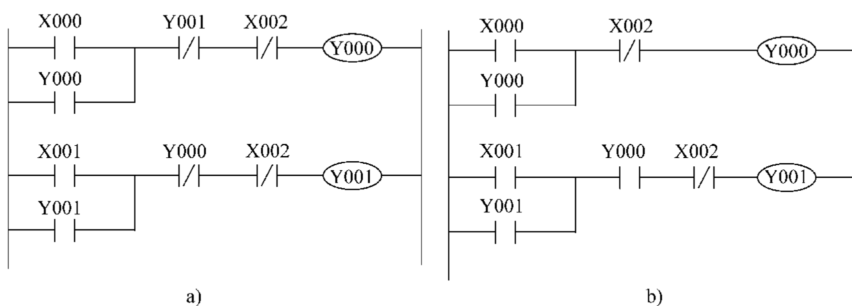


图 8-3　互锁（联锁）功能的程序
a）互锁程序　b）联锁程序

2. 定时器应用程序

（1）产生脉冲的程序

1）周期可调的脉冲信号发生器。图 8-4 所示采用定时器 T0 产生一个周期可调节的连续脉冲。当 X0 常开触点闭合后，第一次扫描到 T0 常闭触点时，它是闭合的，于是 T0 线圈得电，经过 1s 的延时，T0 常闭触点断开。T0 常闭触点断开后的下一个扫描周期中，当扫描到 T0 常闭触点时，因它已断开，使 T0 线圈失电，T0 常闭触点又随之恢复闭合。这样，在下一个扫描周期扫描到 T0 常闭触点时，又使 T0 线圈得电，重复以上动作，T0 的常开触点

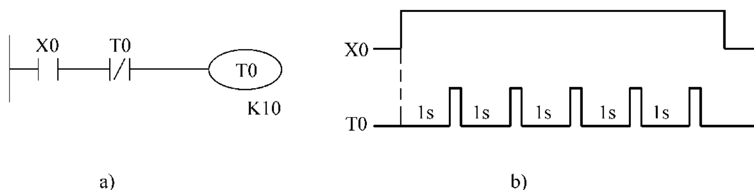


图 8-4　周期可调的脉冲信号发生器
a）梯形图　b）时序图

连续闭合、断开，就产生了脉宽为一个扫描周期、脉冲周期为 1s 的连续脉冲。改变 T0 的设定值，就可改变脉冲周期。

2）占空比可调的脉冲信号发生器。图 8-5 所示为采用两个定时器产生连续脉冲信号，脉冲周期为 5s，占空比为 3∶2（接通时间∶断开时间）。接通时间为 3s，由定时器 T1 设定；断开时间为 2s，由定时器 T0 设定为 Y0 作为连续脉冲输出端。

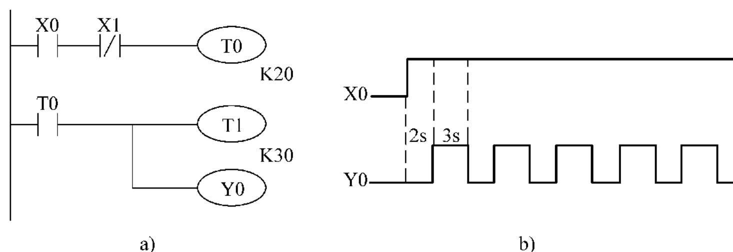


图 8-5　占空比可调的脉冲信号发生器
a）梯形图　b）时序图

3）顺序脉冲发生器。图 8-6a 所示为用三个定时器产生一组顺序脉冲的梯形图程序，顺序脉冲波形如图 8-6b 所示。当 X4 接通，T40 开始延时，同时 Y31 通电，定时 10s 时间到，T40 常闭触点断开，Y31 断电。T40 常开触点闭合，T41 开始延时，同时 Y32 通电，当 T41 定时 15s 时间到，Y32 断电。T41 常开触点闭合，T42 开始延时，同时 Y33 通电，当 T42 定时 20s 时间到，Y33 断电。如果 X4 仍接通，重新开始产生顺序脉冲，直至 X4 断开。当 X4 断开时，所有的定时器全部断电，定时器触点复位，输出 Y31、Y32 及 Y33 全部断电。

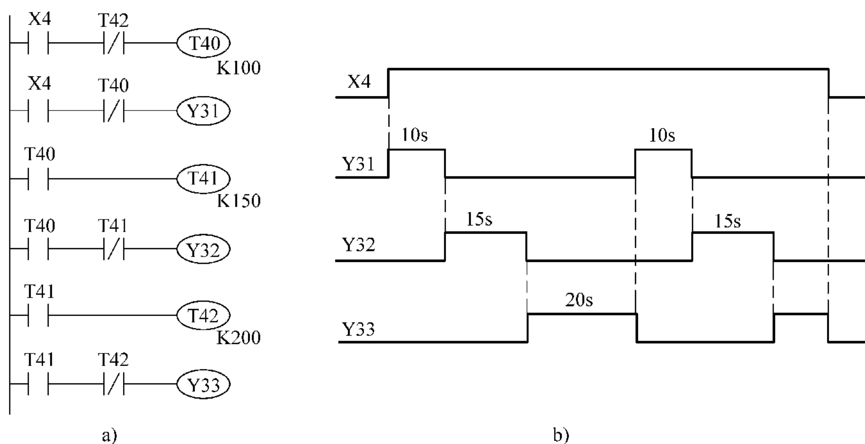


图 8-6　顺序脉冲发生器
a）梯形图　b）时序图

（2）断电延时动作的程序

大多数 PLC 的定时器均为接通延时定时器，即定时器线圈通电后开始延时，待定时时间到，定时器的常开触点闭合、常闭触点断开。在定时器线圈断电时，定时器的触点立刻复位。

图 8-7 所示为断电延时程序的梯形图和时序图。当 X13 接通时，M0 线圈接通并自锁，

Y3 线圈通电，这时 T13 由于 X13 常闭触点断开而没有接通定时；当 X13 断开时，X13 的常闭触点恢复闭合，T13 线圈得电，开始定时。经过 10s 延时后，T13 常闭触点断开，使 M0 复位，Y3 线圈断电，从而实现从输入信号 X13 断开，经 10s 延时后，输出信号 Y3 才断开的延时功能。

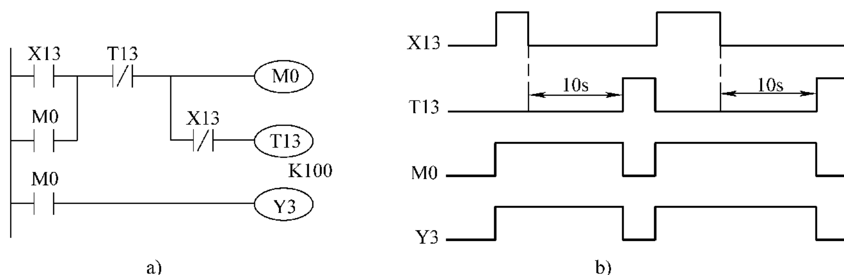


图 8-7　断电延时程序

a）梯形图　b）时序图

（3）多个定时器组合的延时程序

一般 PLC 的一个定时器的延时时间都较短，如 FX 系列 PLC 中一个 0.1s 定时器的定时范围为 0.1 ~3276.7s，如果需要延时时间更长的定时器，可采用多个定时器串级使用来实现长时间延时。定时器串级使用时，其总的定时时间为各定时器定时时间之和。

图 8-8 所示为定时时间为 1h 的梯形图及时序图，辅助继电器 M1 用于定时起停控制，采用两个 0.1s 定时器 T14 和 T15 串级使用。当 T14 开始定时后，经 1800s 延时，T14 的常开触点闭合，使 T15 再开始定时，又经 1800s 的延时，T15 的常开触点闭合，Y4 线圈接通。从 X14 接通，到 Y4 输出，其延时时间为 1800s + 1800s = 3600s = 1h。

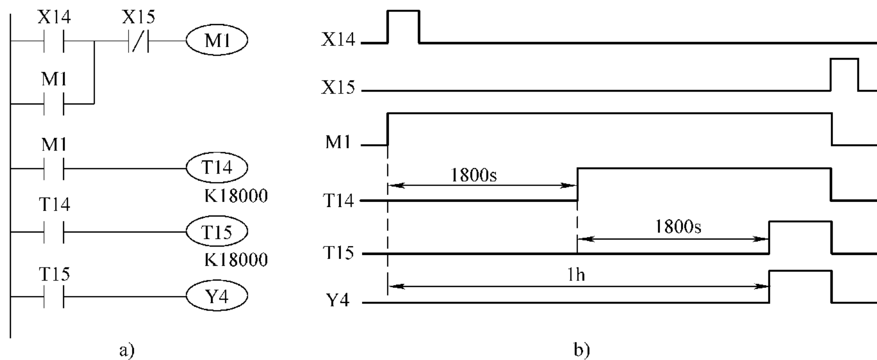


图 8-8　用定时器串级的长延时程序

a）梯形图　b）时序图

3. 计数器应用程序

（1）应用计数器的延时程序

只要提供一个时钟脉冲信号作为计数器的计数输入信号，计数器就可以实现定时功能，时钟脉冲信号的周期与计数器的设定值相乘就是定时时间。时钟脉冲信号，可以由 PLC 内部特殊继电器产生（如 FX 系列 PLC 的 M8011、M8012、M8013 和 M8014 等），也可以由连续脉冲发生程序产生，还可以由 PLC 外部时钟电路产生。

图 8-9 所示为采用计数器实现延时的程序，由 M8012 产生周期为 0.1s 的时钟脉冲信号。当起动信号 X15 闭合时，M2 得电并自锁，M8012 时钟脉冲加到 C0 的计数输入端。当 C0 累计到 18000 个脉冲时，计数器 C0 动作，C0 常开触点闭合，Y5 线圈接通，Y5 的触点动作。从 X15 闭合到 Y5 动作的延时时间为 $18000\times0.1=1800s$。延时误差和精度主要由时钟脉冲信号的周期决定，要提高定时精度，就必须用周期更短的时钟脉冲作为计数信号。

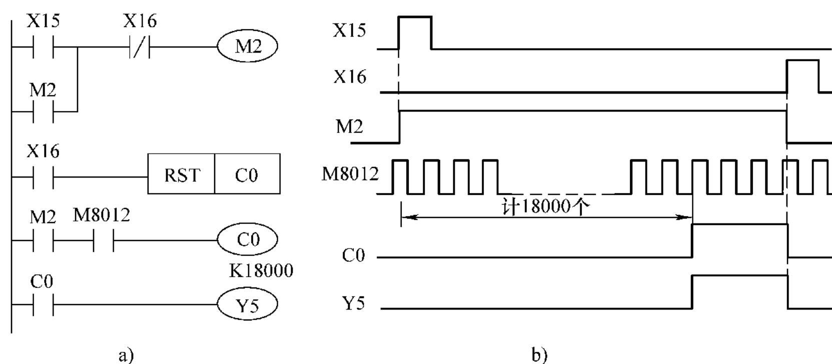


图 8-9　应用一个计数器的延时程序
a）梯形图　b）时序图

延时程序最大延时时间受计数器的最大计数值和时钟脉冲的周期限制，图 8-9 所示计数器 C0 的最大计数值为 32767，所以最大延时时间为 $32767\times0.1=3276.7s$。要增大延时时间，可以增大时钟脉冲的周期，但这又使定时精度下降。为获得更长时间的延时，同时又能保证定时精度，可采用两级或多级计数器串级计数。图 8-10 所示为采用两级计数器串级计数延时的一个例子。图中由 C0 构成一个 1800s（30min）的定时器，其常开触点每隔 30min 闭合一个扫描周期。这是因为 C0 的复位输入端并联了一个 C0 常开触点，当 C0 累计到 18000 个脉冲时，计数器 C0 动作，C0 常开触点闭合，C0 复位，C0 计数器动作一个扫描周期后又开始计数，使 C0 输出一个周期为 30min、脉宽为一个扫描周期的时钟脉冲。C0 的另一个常开触点作为 C1 的计数输入，当 C0 常开触点接通一次，C1 输入一个计数脉冲，当 C1 计数脉冲累计到 10 个时，计数器 C1 动作，C1 常开触点闭合，使 Y5 线圈接通，Y5 触点动作。从 X15 闭合，到 Y5 动作，其延时时间为 $18000\times0.1\times10=18000s$（5h）。计数器 C0 和 C1 串级后，最大的延时时间可达 $32767\times0.1\times32767s=29824.34h=1242.68$ 天。

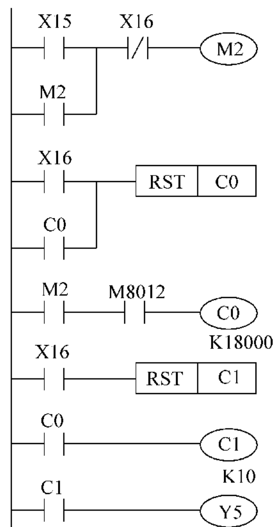


图 8-10　应用两个计数器的延时程序

（2）定时器与计数器组合的延时程序

利用定时器与计数器级联组合可以扩大延时时间，如图 8-11 所示。图中 T4 形成一个 20s 的自复位定时器，当 X4 接通后，T4 线圈接通并开始延时，20s 后 T4 常闭触点断开，T4 定时器的线圈断开并复位，待下一次扫描时，T4 常闭触点才闭合，T4 定时器线圈又重新接通并开始延时。所以当 X4 接通后，T4 每过 20s 其常开触点接通一次，为计数器输入一个脉

冲信号，计数器 C4 计数一次，当 C4 计数 100 次时，其常开触点接通 Y3 线圈。可见从 X4 接通到 Y3 动作，延时时间为定时器定时值（20s）和计数器设定值（100）的乘积（2000s）。图中 M8002 为初始化脉冲，使 C4 复位。

（3）计数器级联程序

计数器计数值范围的扩展，可以通过多个计数器级联组合的方法来实现。图 8-12 所示为两个计数器级联组合扩展的程序。X1 每通/断一次，C60 计数 1 次，当 X1 通/断 50 次时，C60 的常开触点接通，C61 计数 1 次，与此同时 C60 另一对常开触点使 C60 复位，重新从零开始对 X1 的通/断进行计数，每当 C60 计数 50 次时，C61 计数 1 次，当 C61 计数到 40 次时，X1 总计通/断 50×40＝2000 次，C61 常开触点闭合，Y31 接通。可见本程序计数值为两个计数器计数值的乘积。

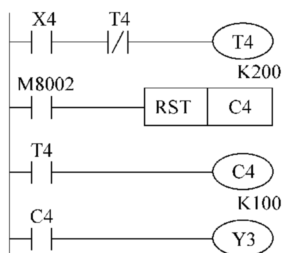


图 8-11　定时器与计数器组合的延时程序

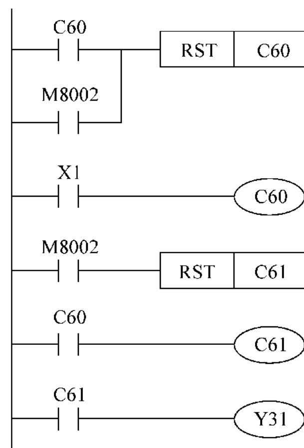


图 8-12　两个计数器级联组合扩展的程序

4. 故障检测程序的设计

（1）超时检测

机械设备在各工步的动作所需的时间一般是不变的，即使变化也不会太大，因此可以以这些时间为参考，在 PLC 发出输出信号，相应的外部执行机构开始动作时起动一个定时器定时，定时器的设定值比正常情况下该动作的持续时间长 20% 左右。例如，设某执行机构（如电动机）在正常情况下运行 50s 后，它驱动的部件使限位开关动作，发出动作结束信号。若该执行机构的动作时间超过 60s（即对应定时器的设定时间），PLC 还没有接收到动作结束信号，定时器延时接通的常开触点发出故障信号，该信号停止正常的循环程序，起动报警和故障显示程序，使操作人员和维修人员能迅速判别故障的种类，及时采取排除故障的措施。图 8-13 所示为超时故障检测程序。

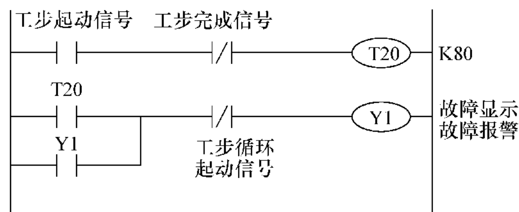


图 8-13　超时故障检测程序

（2）逻辑错误检测

在系统正常运行时，PLC 的输入、输出信号和内部的信号（如辅助继电器的状态）相互之间存在着确定的关系，如出现异常的逻辑信号，则说明出现了故障。因此，可以编制

一些常见故障的异常逻辑关系，一旦异常逻辑关系为 ON 状态，就应按故障处理。例如，某机械滑台的运动过程中先后有两个限位开关动作，这两个信号不会同时为 ON 状态，若它们同时为 ON，说明至少有一个限位开关被卡死，应停机进行处理。如图 8-14 所示，第 1 行为检测滑台原位开关和终点开关失灵造成的逻辑错误，在正常工作时，滑台原位开关和终点开关的常开触点不可能同时闭合，所以一旦 M1 得电就驱动 Y0 显示故障并报警。图 8-14 中第 2 行为检测滑台过多输出故障状态，第 3～5 行为检测滑台欠输出故障状态。

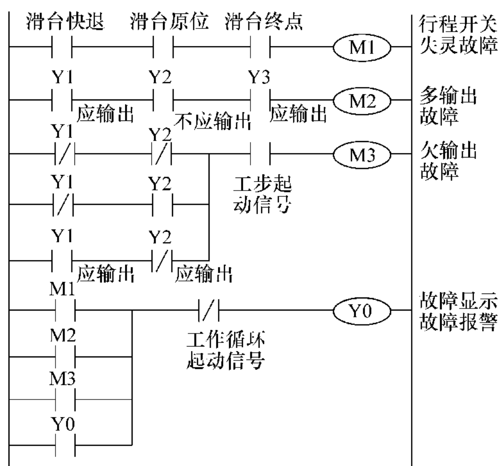


图 8-14　逻辑错误检测程序

5. 其他典型应用程序

（1）单脉冲程序

单脉冲程序如图 8-15 所示，从给定信号（X0）的上升沿开始产生一个脉宽一定的脉冲信号（Y1）。当 X0 接通时，M2 线圈得电并自锁，M2 常开触点闭合，使 T1 开始定时、Y1 线圈得电。定时时间 2s 到，T1 常闭触点断开，使 Y1 线圈断电。无论输入 X0 接通的时间长短怎样，输出 Y1 的脉宽都等于 T1 的定时时间 2s。

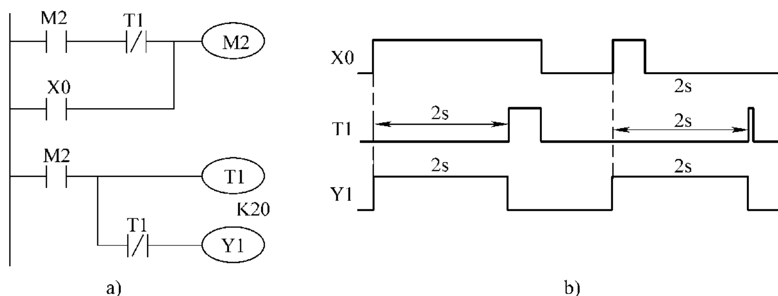


图 8-15　单脉冲程序

a）梯形图　b）时序图

（2）分频程序

在许多控制场合，需要对信号进行分频。下面以图 8-16 所示的二分频程序为例来说明 PLC 是如何来实现分频的。

图 8-16a 中用了三个辅助继电器 M160、M161 和 M162。图 8-16b 中，Y30 产生的脉冲信号是 X1 脉冲信号的二分频。当输入 X1 在 t1 时刻接通（ON），M160 产生脉宽为一个扫描周期的单脉冲，Y30 线圈在此之前并未得电，其对应的常开触点处于断开状态，因此执行至第 3 行程序时，尽管 M160 得电，但 M162 仍不得电，M162 的常闭触点处于闭合状态。执行至第 4 行，Y30 得电（ON）并自锁。此后，多次循环扫描执行这部分程序，但由于 M160 仅接通一个扫描周期，M162 不可能得电。由于 Y30 已接通，对应的常开触点闭合，为 M162 的得电做好了准备。

等到 t2 时刻，输入 X1 再次接通（ON），M160 上再次产生单脉冲。此时在执行第 3 行

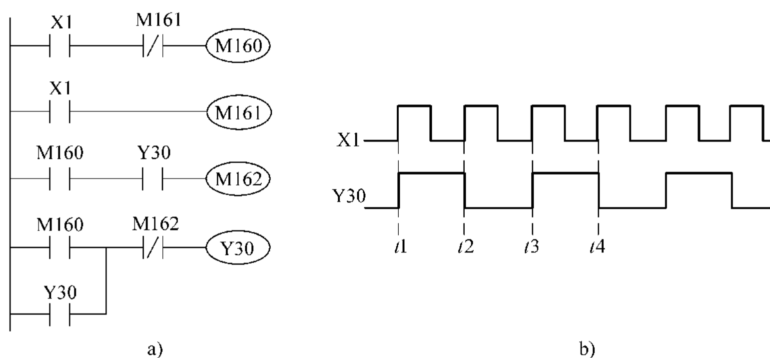


图 8-16　二分频程序
a）梯形图　b）时序图

时，M162 条件满足得电，M162 对应的常闭触点断开。执行第 4 行程序时，Y30 线圈失电（OFF）。之后虽然 X1 继续存在，由于 M160 是单脉冲信号，虽多次扫描执行第 4 行程序，Y30 也不可能得电。在 t3 时刻，X1 第三次接通（ON），M160 上又产生单脉冲，输出 Y30 再次接通（ON）。t4 时刻，Y30 再次失电（OFF），循环往复。这样 Y30 正好是 X1 脉冲信号的二分频。由于每当出现 X1（控制信号）时就将 Y30 的状态翻转（ON/OFF/ON/OFF），这种逻辑关系也可用作触发器。

除了以上介绍的几种基本程序外，还有很多这样的程序不再一一列举，它们都是组成较复杂的 PLC 应用程序的基本环节。

8.2　PLC 控制系统开发应用实例

8.2.1　PLC 在机械加工中的应用——搬运机械手

1. 机械手的控制要求

（1）设备概况

机械手用于搬运工件，工作时可将工件从左工作台取起，将工件搬运至右工作台放下，周而复始同一工作。机械手的结构和各部分动作的示意图如图 8-17 所示。机械手所有的动作均由液压驱动，它的上升与下降、左移与右移等动作均由双线圈双位电磁阀控制，一旦某个方向的电磁阀得电，机械手就一直保持当前状态，直到另一个电磁阀得电后，才终止机械手的动作。即当下降电磁阀通电时，机械手下降；下降电磁阀断电时，机械手停止下降；只有当上升电磁阀通电时，机械手才上升。机械手的夹紧和放松用一个单线圈双位电磁阀来控制，线圈通电时夹紧，线圈断电时放松。

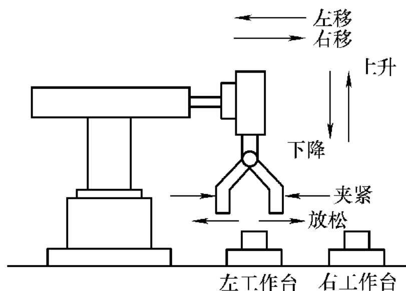


图 8-17　机械手的结构和
各部分动作的示意图

（2）机械手动作顺序与元件布置

机械手的动作顺序和检测元件、执行元件的布置示意图如图 8-18 所示。

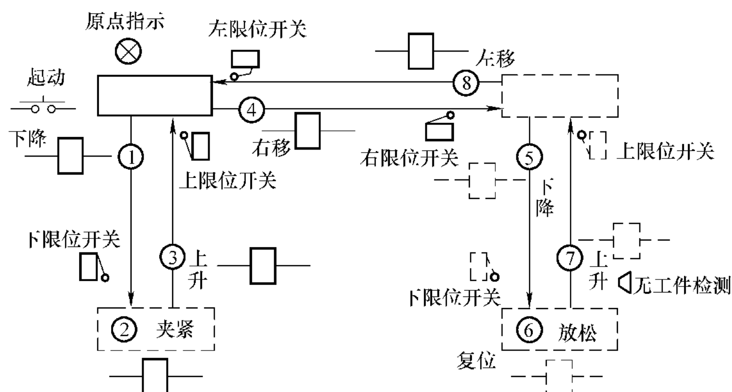


图 8-18　机械手的动作顺序和检测元件、执行元件的布置示意图

机械手的初始位置停在原点（示意图左上方），其上限位开关和左限位开关闭合。按下起动按钮后，机械手将依次完成下降—夹紧（时间为 1s）—上升—右移—再下降—放松（时间为 1s）—再上升—左移 8 个动作，机械手的下降、上升、右移、左移等动作的转换，是由相应的限位开关来控制的，而夹紧、放松动作的转换是由时间来控制的。

按下停止按钮后，机械手要将当前工作周期的动作完成后，才能返回到初始位置。

为保证安全，机械手右移到位后，必须在右工作台上无工件时才能下降，若上一次搬到右工作台上工件尚未移走，机械手应自动暂时等待。为此设置了一个光电开关，以检测“无工件”信号。

（3）控制要求

按不同的工作方式，搬运机械手的控制要求分为如下几个方面：

1）手动工作方式。利用按钮对机械手每一动作单独进行控制。例如，按“下降”按钮，机械手下降，按“上升”按钮，机械手上升。用手动操作可以使机械手置于原位，还便于维修时机械手的调整。

2）单步工作方式。从原点开始，按照自动工作循环的步序，每按一下起动按钮，机械手完成一步的动作后自动停止。

3）单周期工作方式。按下起动按钮，从原点开始，机械手按工序自动完成一个周期的动作，返回原点后停止。

4）连续工作方式。按下起动按钮，机械手从原点开始按工序自动反复连续循环工作，直到按下停止按钮，机械手自动停机。或者将工作方式选择开关转换到“单周期”工作方式，此时机械手在完成最后一个周期的工作后，返回原点自动停机。

根据以上控制要求，操作台面板布置示意图如图 8-19 所示。

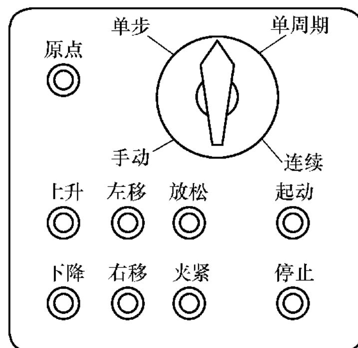


图 8-19　机械手操作台面板布置示意图

2. PLC 选型与 I/O 分配

（1）输入信号

输入信号是将机械手的工作状态和操作的信息提供给 PLC。输入信号共有 17 个输入信号点，需占用 17 个输入端子。具体分配如下：位置检测信号有下限、上限、右限、左限，共 4 个行程开关，需要 4 个输入端子；“无工件”检测信号采用光电开关作为检测元件，需要 1 个输入端子；“工作方式”选择开关有手动、单步、单周期和连续 4 种工作方式，需要 4 个输入端子；手动操作时，需要有下降、上升、右移、左移、夹紧、放松 6 个按钮，需要 6 个输入端子；自动工作时，尚需起动按钮、停止按钮，需占 2 个输入端子。

（2）输出信号

PLC 的输出信号用来控制机械手的下降、上升、右移、左移和夹紧 5 个电磁阀线圈，需要 5 个输出点；机械手从原点开始工作，需要有 1 个原点指示灯，要占用 1 个输出点。所以，至少需要 6 个输出信号点。

（3）PLC 选型

要达到控制功能要求，选用继电器输出型 PLC 即可，此处选用 FX2N－48MR。

（4）分配 PLC 的 I/O 端子

根据对机械手的 I/O 信号的分析以及所选的外部输入设备的类型及 PLC 的机型，分配 PLC 的 I/O 端子如图 8-20 所示。

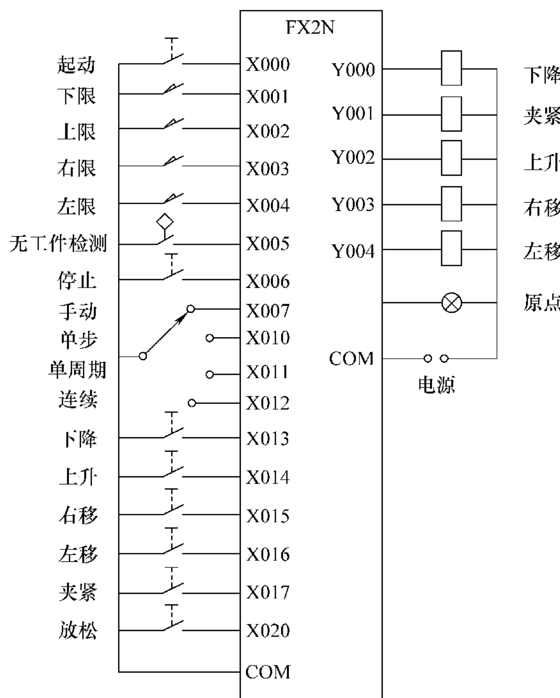


图 8-20　I/O 端子的分配

3. PLC 控制系统程序设计

（1）程序的总体结构

本例为具有多种工作方式的控制系统，系统具有多种工作方式，如手动和自动等。程序

设计基本思路如下：

将系统的程序按照工作方式和功能分成若干部分，如公用程序、手动程序、自动程序等。为了便于编程，在设计软件时将手动程序和自动程序分别编出相对独立的程序段，再用条件跳转指令进行选择。搬运机械手的控制系统程序结构框图如图8-21所示。

当选择手动工作方式（手动、单步）时，X007 或者 X010 接通并跳过自动程序而执行手动程序；当选择自动工作方式（单周期、连续）时，X007、X010 断开，而 X011 或 X012 接通，则跳过手动程序而执行自动程序。

由于工作方式选择转换开关在外部采取了机械互锁，因而此程序中手动程序和自动程序可以采用互锁，也可以不互锁。如果工作方式选择转换开关不采取机械互锁，程序中手动程序和自动程序必须采用互锁，在工作中有相同的工作要求，可以设置一段公用程序。

（2）程序的设计

1）手动程序。手动操作不需要按工序顺序动作，所以可按普通继电器程序来设计。手动操作的梯形图如图 8-22 所示。手动按钮 X013 ~ X020 分别控制下降、上升、右移、左移、夹紧、放松各个动作。为了保证系统的安全运行设置了一些必要的联锁。其中在左、右移动的梯形图中加入了 X002 作为上限联锁，因为机械手只有处于上限位置时，才允许左右移动。

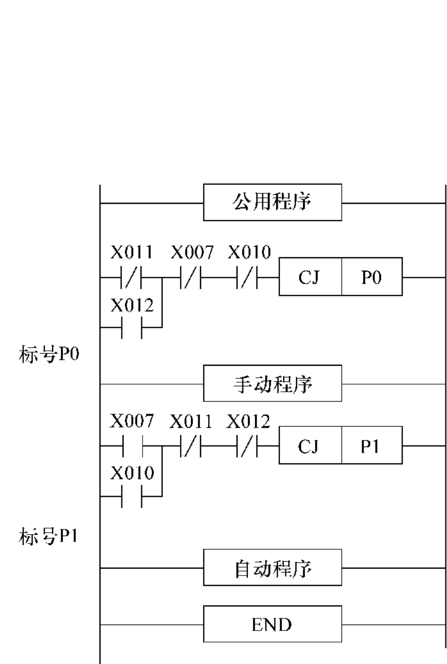


图 8-21　搬运机械手的控制系统程序结构框图

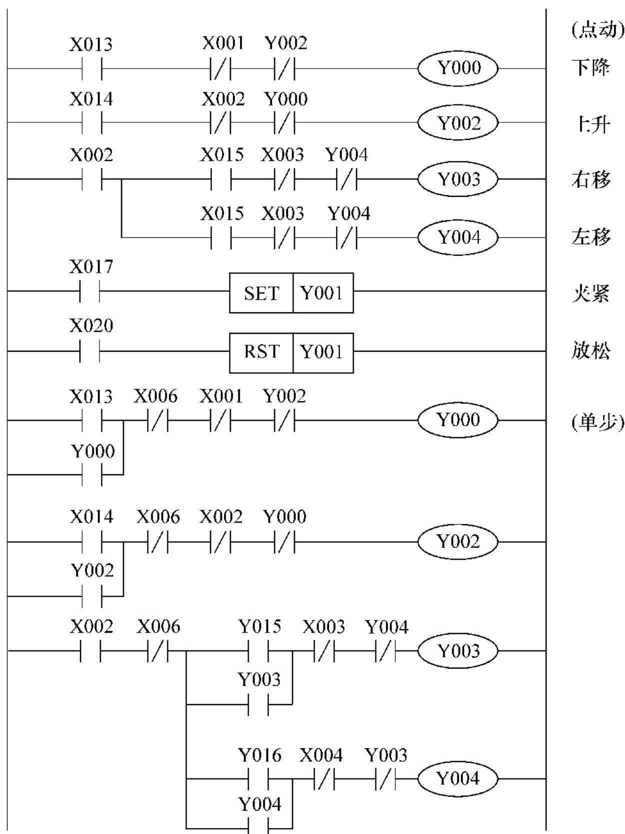


图 8-22　手动操作的梯形图

由于夹紧、放松动作是用单线圈双位电磁阀控制，故在梯形图中用“置位”、“复位”指令，使之有保持功能。

2）自动程序设计。由于自动操作的动作较复杂，可先画自动操作流程图（见图 8-23），用以表明动作的顺序和转换条件，然后再根据所采用的控制方法设计程序。矩形框表示“工步”，相邻两个工步之间，用有向线段连接，表明转换的方向。小横线表示转换的条件。若转换条件得到满足，则程序从上工步转到下工步。

根据自动操作流程图就可以画出自动控制程序的梯形图（见图 8-24）。

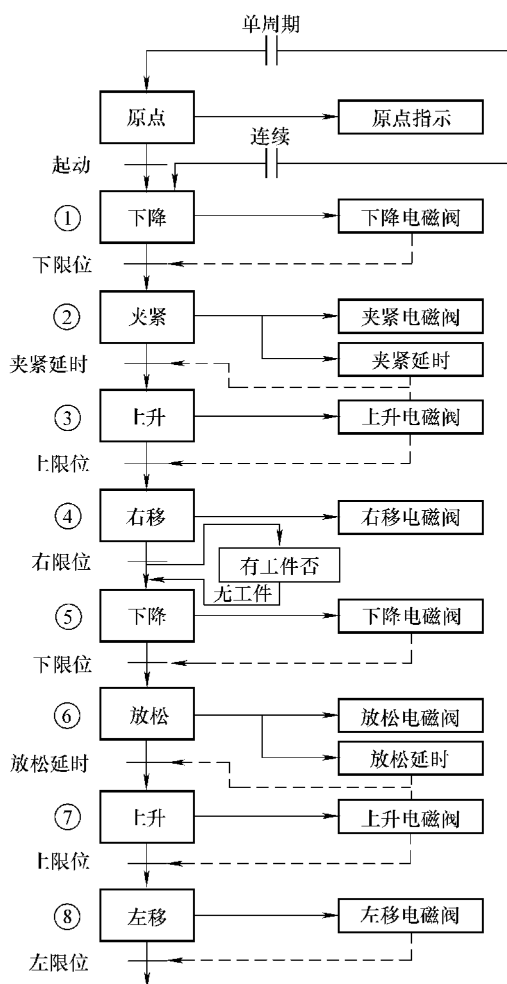


图 8-23　自动操作流程图

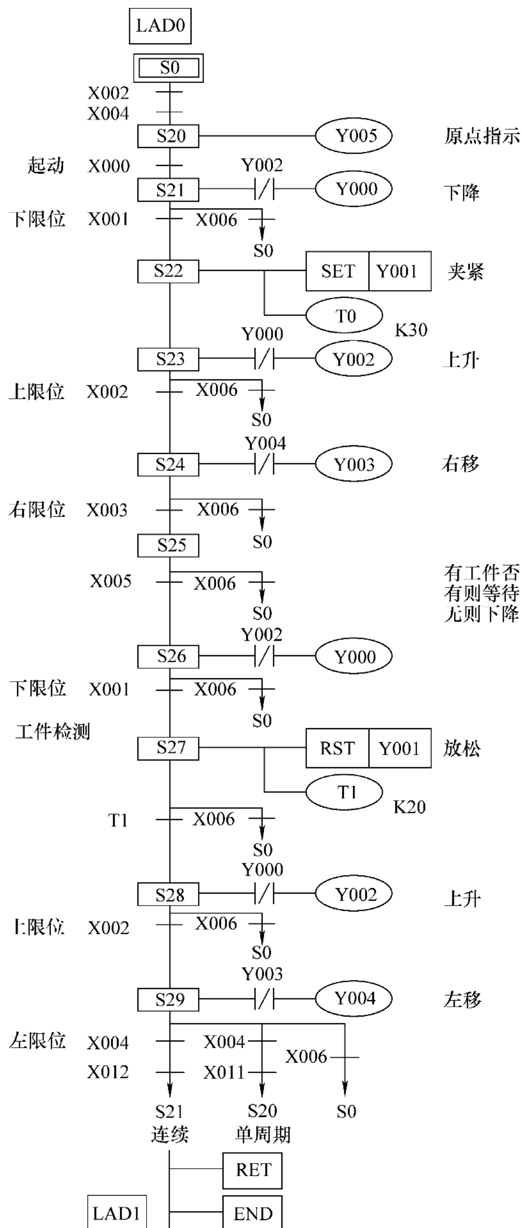


图 8-24　自动控制程序的梯形图

3）回原点程序。回原点程序用于将程序中使用的状态器进行置位和复位。回原点程序如图 8-25 所示。

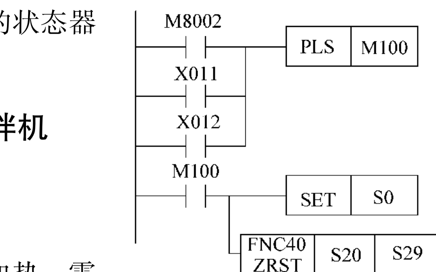


图 8-25　回原点程序

8.2.2　PLC 在化工生产中的应用——液体搅拌机

1. 搅拌机的工作过程与控制要求

（1）设备概况

本系统为两种液体自动混合搅拌，同时需电炉加热，需要对各种液体温度及液面高度监控，因此需要用传感器监控，各种液体入池比例需要电磁阀控制，液体入池后的搅拌则需要电动机控制，对各控件的控制需要一个完整的流程，运用 PLC 技术，可实现对各控件的控制。

（2）控制要求

图 8-26 所示为液体自动混合搅拌机示意图，其控制要求如下：

按下起动按钮 SB1，电磁阀 K1 打开，液体 A 流入箱中，当液面到达 L2 处时，K1 阀关闭，同时 K2 阀打开，液体 B 流入箱中，当液面到达 L1 处时，K2 阀关闭，停止供液，同时电炉 H 开始加热，当液体到达指定温度时，温度传感器 T 动作，电炉停止加热，电动机 M 开始搅拌液体，5min 后停止搅拌，K3 阀打开，将加热并混合好的液体放出，当液面低于 L3 时，再经过 10s K3 阀关闭，此时箱内液体已放空。此后，电磁阀 K1 打开，液体 A 流入箱中，开始下一周期的循环。按下停止按钮 SB2，系统停止操作，回到初始状态。

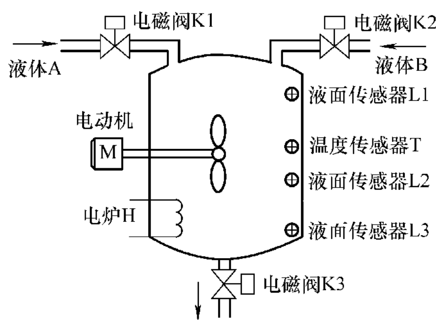


图 8-26　液体自动混合搅拌机示意图

2. PLC 选型与 I/O 分配

（1）输入

根据控制要求，液体自动混合搅拌机需要 6 个输入设备：起动和停止按钮各一个，三个液位传感器，一个温度传感器。

（2）输出

根据控制要求，液体自动混合搅拌机需要 5 个输出设备：三个电磁阀，一个电动机，一个加热器。

（3）PLC 选型

要达到控制功能要求，选用继电器输出型 PLC 即可，此处选用 FX2N－16MR 的 PLC，工作电源为 AC 220V。

（4）分配 PLC 的 I/O 端子

根据液体自动混合搅拌机的控制要求，输入/输出端口分配及功能如表 8-1 所示。其I/O 接线图如图 8-27 所示。

3. PLC 控制系统程序设计

液体自动混合搅拌机的一个工作周期可以分为 6 步，分别用 M20 ~ M25 来代表这 6 步。起动按钮 X0、各传感器 X1 ~ X4 的常开触点是各个工步之间的转换条件。根据系统控制要

表 8-1　I/O 端口分配

输　入			输　出		
输入继电器	输入元件	作　用	输出继电器	输出元件	作　用
X0	SB1	起动按钮	Y0	YV1	电磁阀 K1
X1	L1	高液位	Y1	YV2	电磁阀 K2
X2	L2	中液位	Y2	YV3	电磁阀 K3
X3	T	温度传感器	Y3	KM	电动机 M
X4	L3	低液位	Y4	H	加热器 H
X5	SB2	停止按钮			

求，先画出顺序功能图。液体自动混合搅拌机的顺序功能图如图 8-28 所示。将顺序功能图转化为梯形图，液体自动混合搅拌机的梯形图如图 8-29 所示。

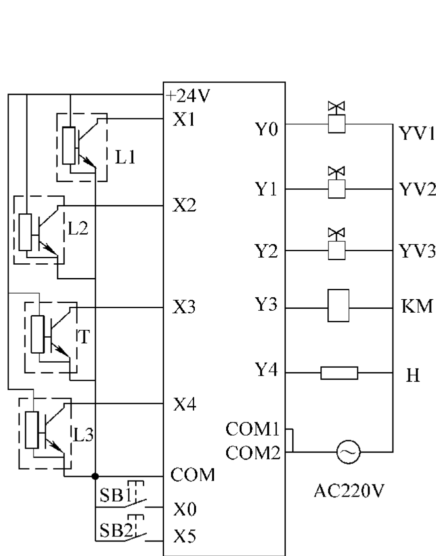


图 8-27　液体自动混合搅拌机的 I/O 接线图

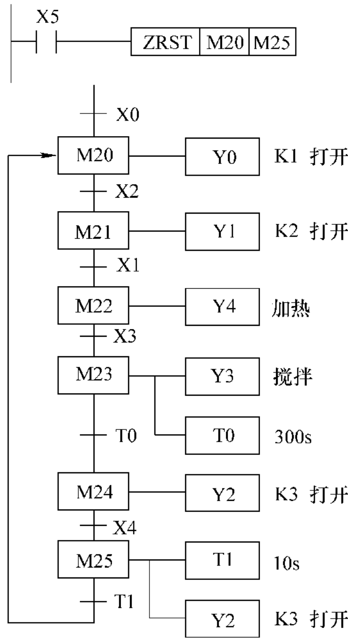


图 8-28　液体自动混合搅拌机的顺序功能图

8.2.3　PLC 在楼宇智能化中的应用——轿厢升降电梯

随着城市建设的不断发展，楼群建筑不断增多，电梯在当今社会的生活中有着广泛的应用。电梯作为楼群建筑中垂直运行的交通工具已与人们的日常生活密不可分。实际上电梯是根据外部呼叫信号以及自身控制规律等运行的，而呼叫是随机的，电梯实际上是一个人机交互式的控制系统。

1. 电梯控制的功能要求

（1）设备概况

电梯是一种特殊的起重运输设备，由轿厢、拖动电动机及减速传动机械、井道及其设备、召唤系统及安全设置构成。井道指建筑物中用于安装电梯并提供电梯运行的通道，轿厢

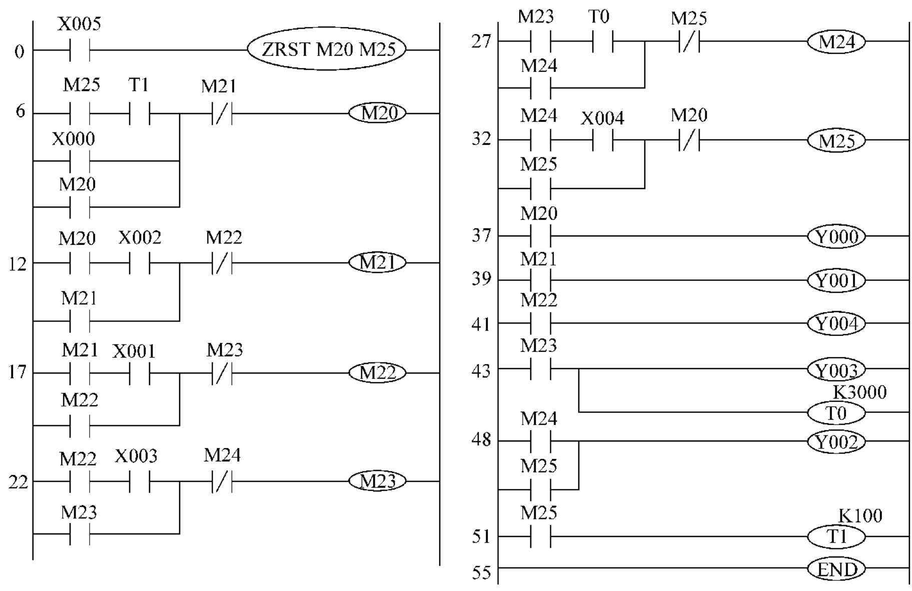


图 8-29　液体自动混合搅拌机的梯形图

在井道中运行。井道在各楼层设有门厅及呼梯设备。厅门装有层楼指示灯，用于指示电梯的运行方向及电梯所在的位置。门厅里还设有呼梯盒，用于在每层站召唤电梯。

图 8-30 所示为三层电梯及轿厢示意图。电梯主体包括升降电动机、轿厢、滑轮、钢丝绳、行程开关等。升降电动机为交流可逆电动机，轿厢套在钢丝绳上，电动机带动钢丝绳正转或反转时，轿厢对应上升或下降。每层楼均安装行程开关，利用机械碰撞，给出各楼层的层信号。

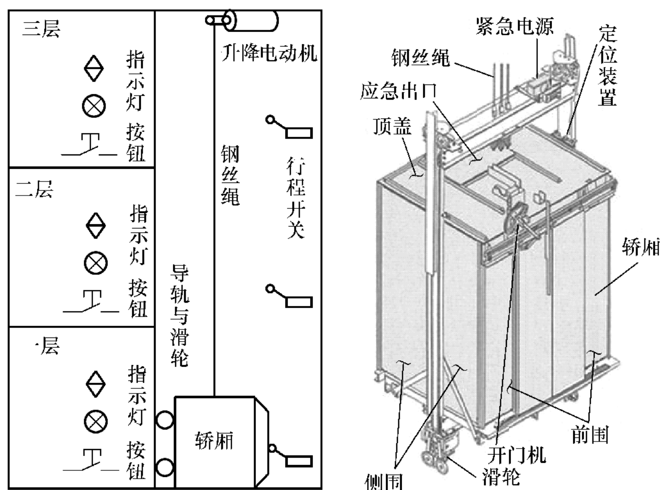


图 8-30　三层电梯及轿厢示意图

（2）电梯工作过程

电梯完成一个呼叫响应的步骤如下：

1）电梯在检测到门厅或轿箱的召唤信号后将此楼层信号与轿箱所在楼层信号比较，通

过选向模块进行运行选向。

2）电梯开始起动，通过驱动电动机拖动轿箱运动。轿箱运动速度由低速转变为中速再转变为高速，并以高速运行至目标层。

3）当电梯检测到目标层减速点后，电梯进入减速状态，由高速变为低速，并以低速运行至平层点停止。

4）平层后，经过一定延时开门，直至碰到开门到位行程开关；再经过一定延时后关门，直到安全触板开关动作。

（3）电梯工作控制要求

电梯开始时，处于任意一层，当楼层外部有呼叫信号时，轿厢响应该呼叫信号，到达该楼层时，轿厢停止运行，轿厢门自动打开，延时 3s 后自动关门。在电梯运行过程中，轿厢上升（或下降）途中，任何反方向下降（或上升）呼叫信号均不响应。功能要求如下：

1）系统采取在轿厢外用唤叫、在轿厢内用按钮控制形式。轿厢内、外均由指令按钮进行操作。每层楼的厢外设有呼叫按钮 SB6 ~ SB9，厢内设有开门按钮 SB1、关门按钮 SB2、层面指令按钮 SB3 ~ SB5。

2）电梯运行到指定的位置后，具有自动开/关门的功能，也能手动开门和关门。

3）利用指示灯显示电梯厢外的呼叫信号、电梯厢内的指令信号和电梯到达信号。

4）能自动判断电梯运行方向，并发出相应指示信号。

5）电梯上下运行由一台主电动机驱动。电动机正转，电梯上升；电动机反转，电梯下降。

6）电梯轿厢门由另一台小功率电动机驱动。电动机正转，厢门打开；电动机反转，厢门关闭。

2. PLC 选型及输入、输出地址分配

（1）输入信号

三层电梯有 23 个输入信号，输入信号及地址分配如表 8-2 所示。

表 8-2　输入信号及地址分配

名　称	符号	插入点	名　称	符号	插入点
开门按钮	SB1	X000	一层内指令按钮	SB3	X014
关门按钮	SB2	X001	二层内指令按钮	SB4	X015
开门到位行程开关	SQ1	X002	三层内指令按钮	SB5	X016
关门到位行程开关	SQ2	X003	一层向上召唤按钮	SB6	X017
向上运行旋转开关	SQ3	X004	二层向上召唤按钮	SB7	X020
向下运行旋转开关	SQ4	X005	二层向下召唤按钮	SB8	X021
红外传感器（左）	SL1	X006	三层向下召唤按钮	SB9	X022
红外传感器（右）	SL2	X007	一楼上接近开关	SQ8	X023
门锁输入信号	K	X010	二楼上接近开关	SQ9	X024
一层接近开关	SQ5	X011	三楼下接近开关	SQ10	X025
二层接近开关	SQ6	X012	二楼下接近开关	SQ11	X026
三层接近开关	SQ7	X013			

（2）输出信号

三层电梯有 19 个输出信号，输出信号及地址分配如表 8-3 所示。

表 8-3　输出信号及地址分配

名　称	符号	输出点	名　称	符号	输出点
开门继电器	KM1	Y000	二层指示灯	E4	Y023
关门继电器	KM2	Y001	三层指示灯	E5	Y024
上行继电器	KM3	Y002	一层内指令指示灯	E6	Y025
下行继电器	KM4	Y003	二层内指令指示灯	E7	Y026
快速继电器	KM5	Y004	三层内指令指示灯	E8	Y027
加速继电器	KM6	Y005	一楼向上召唤灯	E9	Y030
慢速继电器	KM7	Y006	二楼向上召唤灯	E10	Y031
上行方向灯	E1	Y020	二楼向下召唤灯	E11	Y032
下行方向灯	E2	Y021	三楼向下召唤灯	E12	Y033
一层指示灯	E3	Y022			

（3）PLC 选型

三层电梯有 23 个输入信号，19 个输出信号，可以选择 FX2N－48MR。但考虑今后升级的余量，就选了 FX2N－64MR（I/O 为 32/32）的 PLC。

3. PLC 控制系统设计

通过 PLC 的合理编程，实现自动平层、自动开关门、自动掌握停站时间、内外呼信号的登记与消除、顺向截梯及自动换向等集选控制功能。

根据三层电梯控制的功能要求和输入/输出点的地址分配表，设计控制梯形图。电梯开门与关门梯形图如图 8-31 所示。程序分成以下几段：

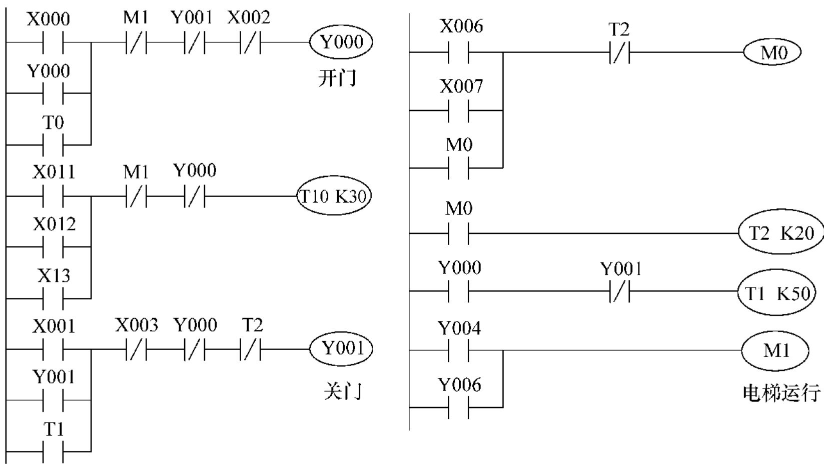


图 8-31　电梯开门与关门梯形图

（1）电梯开门控制

电梯开门控制分手动和自动两种情况。

1）手动开门时，当电梯运行到位后，按下 SB1，X000 闭合，Y000 得电，电动机正转，

轿厢门打开。开门到位，开门到位行程开关 SQ1 动作，X002 常闭触点断开，Y000 失电，开门过程结束。

2）自动开门时，当电梯运行到位后，相应的楼层接近开关 SQ5 或 SQ6 或 SQ7 被压下，即 X011 或 X012 或 X013 闭合。T0 开始计时，延时 3s 后，T0 触点闭合，Y000 输出有效，轿厢门打开。

（2）电梯关门控制

电梯关门控制也分手动和自动两种情况。

1）手动关门时，当按下关门按钮 SB2 时 X001 闭合，Y001 得电，并自锁，驱动关门继电器使电动机反转，轿厢门关闭。关门到位，关门到位行程开关 SQ2 动作，X003 常闭触点断开，Y001 失电，关门过程结束。

2）自动关门时，由定时器 T1 来控制。当电梯开门到位后 Y000 常开触点闭合，T1 开始计时，延时 5s 后，T1 触点闭合，Y001 输出有效，轿厢门自动关闭。

自动关门时，可能夹住乘客，因此在门两侧均装有红外线检测装置 SL1 和 SL2。当有人进出时由 SL1 和 SL2 发出信号使得 X006 和 X007 闭合，辅助继电器 M0 得电，并自锁，使得 T2 开始定时，延时 2s 后再关门。

（3）层呼叫指示灯控制

层呼叫指示灯控制梯形图如图 8-32 所示。当有乘客在轿厢外的某一层按下呼叫按钮 SB6、SB7、SB8 和 SB9 中的任一个后，对应的输入点 X017、X020、X021 和 X022 中的某一个就会闭合，同时所对应的层指示灯就亮，指示有人呼叫。

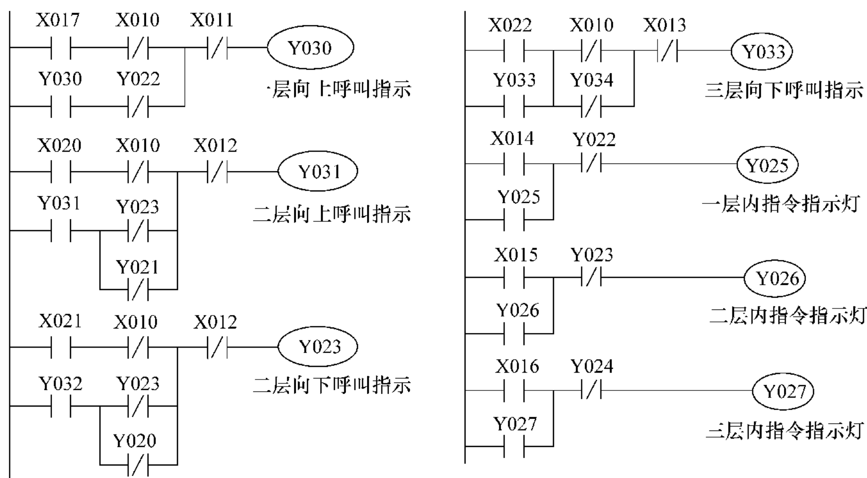


图 8-32　层呼叫指示灯控制梯形图

呼叫信号会一直保持到电梯到达该层，由该层的接近开关 X011、X012 和 X013 中的某一个动作时才被撤销。

（4）电梯到达层指示

如图 8-33 所示，X011、X012 和 X013 分别是 1、2 和 3 层的接近开关 SQ5、SQ6 和 SQ7 的输入点，Y022、Y023 和 Y024 分别是 1、2 和 3 层楼面的指示灯 E3、E4 和 E5。辅助继电器 M2 和 M3 分别是单、双层指示灯互锁控制。当电梯到达某一层楼面后，只能有该楼层的

指示灯亮。

（5）电梯起动和方向选择及变速控制

电梯起动和方向选择及变速控制梯形图如图 8-34 所示。电梯运行方向由输出继电器 Y020 和 Y021 指示，当电梯运行方向确定后，在关门信号和门锁信号符合要求的情况下，或者通过电梯上行输出继电器 Y002，驱动电动机正转，电梯上升；或者通过电梯下行输出继电器 Y003，驱动电动机反转，电梯下降。

电梯起动后快速运行，而后加速，在接近目标楼层时，相应的接近开关动作，电梯开始转为慢速运行，直至电梯到达目标楼层时停止。

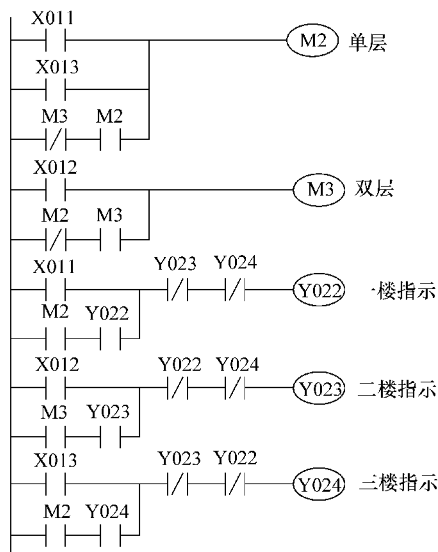


图 8-33　电梯到达层指示梯形图

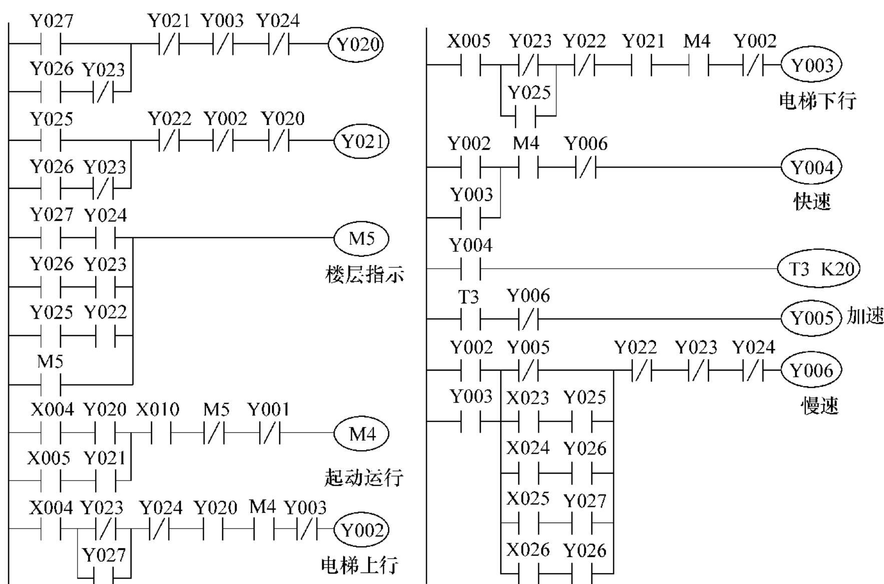


图 8-34　电梯起动和方向选择及变速控制梯形图

8.3　提高 PLC 控制系统可靠性的措施

虽然 PLC 具有很高的可靠性，并且有很强的抗干扰能力，但在过于恶劣的环境或安装使用不当等情况下，都有可能引起 PLC 内部信息的破坏而导致控制混乱，甚至造成内部元件损坏。为了提高 PLC 系统运行的可靠性，应注意以下几个方面的问题。

1. 适合的工作环境

（1）环境温度适宜

各生产厂家对 PLC 的环境温度都有一定的规定。通常 PLC 允许的环境温度约为 0 ~

55℃。因此，PLC 四周要有足够的通风散热空间；不要把 PLC 安装在阳光直接照射或离暖气、加热器、大功率电源等发热器件很近的场所，如果控制柜温度太高，应该在柜内安装风扇强制通风。

（2）环境湿度适宜

PLC 工作环境的空气相对湿度一般为 35% ~85%，以保证 PLC 的绝缘性能。湿度太大也会影响模拟量输入/输出装置的精度。因此，不能将 PLC 安装在结露、雨淋的场所。

（3）注意环境污染

不宜把 PLC 安装在有大量污染物（如灰尘、油烟、铁粉等）、腐蚀性气体和可燃性气体的场所，尤其是有腐蚀性气体的地方，易造成元件及印制电路板的腐蚀。灰尘可引起接触不良，导电粉末可引起误动作、绝缘性变差和短路。

（4）远离振动和冲击源

安装 PLC 的控制柜应当远离有强烈振动和冲击场所，尤其是连续、频繁的振动。PLC 能耐受振动和冲击频率为 10 ~55Hz，振幅为 0.5mm，冲击为 10g（$g=10\mathrm{m/s^2}$），必要时可以采取相应措施来减轻振动和冲击的影响，以免造成接线或插件的松动。

（5）远离强干扰源

PLC 应远离强干扰源，如大功率晶闸管装置、高频设备和大型动力设备等，同时 PLC 还应该远离强电磁场和强放射源，以及易产生强静电的地方。

2. 合理的安装与布线

（1）注意电源安装

电源是干扰进入 PLC 的主要途径。PLC 系统的电源有两类：外部电源和内部电源。

外部电源是用来驱动 PLC 输出设备（负载）和提供输入信号的，又称用户电源，同一台 PLC 的外部电源可能有多种规格。外部电源的容量与性能由输出设备和 PLC 的输入电路决定。由于 PLC 的 I/O 电路都具有滤波、隔离功能，所以外部电源对 PLC 性能影响不大。因此，对外部电源的要求不高。

内部电源是 PLC 的工作电源，即 PLC 内部电路的工作电源。它的性能好坏直接影响到 PLC 的可靠性。因此，为了保证 PLC 的正常工作，对内部电源有较高的要求。一般 PLC 的内部电源都采用开关式稳压电源或原边带低通滤波器的稳压电源。

在干扰较强或可靠性要求较高的场合，应该用带屏蔽层的隔离变压器，对 PLC 系统供电。还可以在隔离变压器二次侧串接 LC 滤波电路。同时，在安装时还应注意以下问题：

1）隔离变压器与 PLC 和 I/O 电源之间最好采用双绞线连接，以控制串模干扰。

2）系统的动力线应足够粗，以降低大容量设备起动时引起的线路压降。

3）PLC 输入电路用外接直流电源时，最好采用稳压电源，以保证正确的输入信号，否则可能使 PLC 接收到错误的信号。

（2）远离高压

PLC 不能在高压电器和高压电源线附近安装，更不能与高压电器安装在同一个控制柜内。在柜内 PLC 应远离高压电源线，二者间距离应大于 200mm。

（3）合理的布线

1）I/O 线、动力线及其他控制线应分开走线，尽量不要在同一线槽中布线。

2）交流线与直流线、输入线与输出线最好分开走线。

3）开关量与模拟量的I/O线最好分开走线，对于传送模拟量信号的I/O线最好用屏蔽线，且屏蔽线的屏蔽层应一端接地。

4）PLC的基本单元与扩展单元之间电缆传送的信号小、频率高，很容易受干扰，不能与其他的连线敷埋在同一线槽内。

5）PLC的I/O回路配线必须使用压接端子或单股线，不宜用多股绞合线直接与PLC的接线端子连接，否则容易出现火花。

6）与PLC安装在同一控制柜内，虽不是由PLC控制的感性元件，也应并联RC或二极管消弧电路。

3. 正确的接地

良好的接地是PLC安全可靠运行的重要条件。为了抑制干扰，PLC一般最好单独接地，与其他设备分别使用各自的接地装置，如图8-35a所示；也可以采用公共接地，如图8-35b所示；但禁止使用图8-35c所示的串联接地方式，因为这种接地方式会产生PLC与设备之间的电位差。

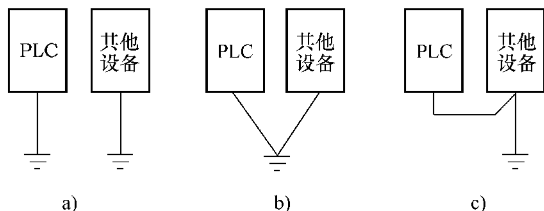


图8-35　PLC的接地
a）分别接地　b）公共接地　c）串联接地

PLC的接地线应尽量短，使接地点尽量靠近PLC。同时，接地电阻要小于100Ω，接地线的截面应大于$2mm^2$。

另外，PLC的CPU单元必须接地，若使用了I/O扩展单元等，则CPU单元应与它们具有共同的接地体，而且从任一单元的保护接地端到地的电阻都不能大于100Ω。

4. 安全保护环节

（1）短路保护

当PLC输出设备短路时，为了避免PLC内部输出元件损坏，应该在PLC外部输出回路中装上熔断器，进行短路保护。最好在每个负载的回路中都装上熔断器。

（2）互锁与联锁措施

除在程序中保证电路的互锁关系外，最好在PLC外部接线中也采取硬件的互锁措施，以确保系统安全可靠地运行，如电动机正、反转控制，要利用接触器、常闭触点在PLC外部进行互锁。在不同电动机或电器之间有联锁要求时，最好也在PLC外部进行硬件联锁。

（3）失压保护与紧急停车措施

PLC外部负载的供电线路应具有失压保护措施，当临时停电再恢复供电时，不按下“起动”按钮PLC的外部负载就不能自行起动。这种接线方法的另一个作用是，当特殊情况下需要紧急停机时，按下“停止”按钮就可以切断负载电源，而与PLC毫无关系。

5. 必要的软件措施

有时硬件措施不一定完全消除干扰的影响，采用一定的软件措施加以配合，对提高PLC控制系统的抗干扰能力和可靠性起到很好的作用。在PLC的软件设计方面，采取一系列提高系统可靠性的措施。例如，采用软件滤波、软件自诊断、信息保护和恢复、报警和运行信息的显示等。

第 9 章　特殊功能模块

PLC 应用范围极广，控制对象具有多样性，各 PLC 制造厂家在提高 PLC 主机性能的同时，还开发专门用途的功能模块，以满足各种工业控制的特定需要。这些模块包括高速计数器模块、定位控制模块、A－D 和 D－A 模块、PID 模块、PLC 网络模块、PLC 与计算机通信模块、中断控制模块、温度传感器输入模块、BASIC 模块、语音输出模块等。本章着重介绍几种 FX2N 系列 PLC 常用的特殊功能模块。

FX2N 系列 PLC 有多种专用功能模块。常用特殊功能模块如表 9-1 所示。

表 9-1　FX2N 系列 PLC 常用特殊功能模块

名　称	型　号	名　称	型　号
模拟量输入模块	FX2N－2AD	高速计数模块	FX2N－1HC
模拟量输入模块	FX2N－4AD	脉冲发生器模块	FX2N－1PG
模拟量输入模块	FX2N－8AD	定位控制单元	FX2N－10GM
温度输入模块	FX2N－4AD－PT	定位控制单元	FX2N－20GM
温度输入模块	FX2N－4AD－TC	通信接口	FX2N－232－BD
模拟量输出模块	FX2N－2DA	通信接口	FX2N－485－BD
模拟量输出模块	FX2N－4DA	通信接口	FX2N－422－BD
温度控制模块	FX2N－2LC	接口模块	FX2N－2321F

9.1　模拟量 I/O 模块

PLC 广泛应用于工业自动化中，随着生产技术水平的不断提高，在实际的控制系统中，除了要控制开关量外，还有很多模拟量需要控制，如温度、压力、速度、流量等。

1. 模拟量输入模块

（1）模拟量输入模块简介

1）模拟量输入模块 FX2N－2AD。该模块为 2 路电压输入（DC 0～10V，DC 0～5V）或电流输入（DC 4～20mA），12 位高精度分辨率，转换的速度为 2.5ms/通道。这个模块占用 8 个 I/O 点，适用于 FX1N、FX2N、FX2NC 子系列。

2）模拟量输入模块 FX2N－4AD。该模块有 4 个输入通道，其分辨率为 12 位。可选择电流或电压输入，选择通过用户接线来实现。可选的模拟值范围为 DC ±10V（分辨率为 5mV）或 4～20mA、－20～20mA（分辨率为 20μA）。转换的速度最高为 6ms/通道。FX2N－4AD 占用 8 个 I/O 点。

3）模拟量输入模块 FX2N－4AD－PT。该模块与 PT100 型温度传感器匹配，将来自四个箔温度传感器（PT100，3 线，100Ω）的输入信号放大，并将数据转换成 12 位可读数据，存储在主机单元中。摄氏度和华氏度数据都可读取。它内部有温度变送器和模拟量输入电

路，可以矫正传感器的非线性。读分辨率为 0.2～0.3℃。转换速度为 15ms/通道。所有的数据传送和参数设置都可以通过 FX2N－4AD－PT 的软件组态完成，由 FX2N 的 TO/FROM 应用指令来实现。FX2N－4AD－PT 占用 8 个 I/O 点，可用于 FX1N、FX2N、FX2NC 子系统，为温控系统提供了方便。

4）模拟量输入模块 FX2N－4AD－TC。该模块与热电耦型温度传感器匹配，将来自四个热电耦传感器的输入信号放大，并将数据转换成 12 位的可读数据，存储在主单元中，摄氏和华氏数据均可读取，读分辨率在类型为 K 时为 0.2℃；类型为 J 时为 0.3℃，可与 K 型（－100～1200℃）和 J 型（－100～600℃）热电耦配套使用，4 个通道分别使用 K 型或 J 型，转换速度为 240ms/通道。所有的数据传输和参数设置都可以通过 FX2N－4AD－TC 的软件组态完成，占用 8 个 I/O 点。

（2）模拟量输入模块接线与缓冲寄存器（BFM）的分配

下面主要介绍常用的模拟量输入模块 FX2N－4AD 接线与缓冲寄存器（BFM）的分配。

1）FX2N－4AD 的接线。FX2N－4AD 的接线图如图 9-1 所示。图中模拟输入信号采用双绞屏蔽电缆与 FX－4AD 连接，电缆应远离电源线或其他可能产生电气干扰的导线。如果输入有电压波动，或在外部接线中有电气干扰，可以接一个 0.1～0.47μF（25V）的电容。如果是电流输入，应将端子 VOUT 和 IOUT 连接。FX2N－4AD 接地端与 PLC 主单元接地端连接，如果存在过多的电气干扰，再将外壳地端 FG 和 FX2N－4AD 接地端连接。

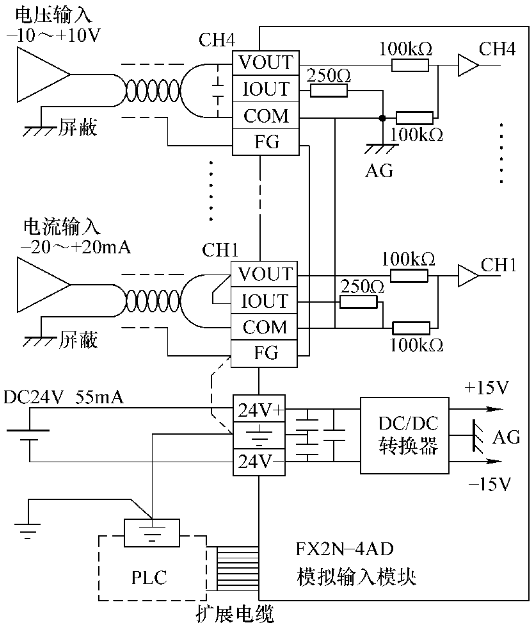


图 9-1　FX2N－4AD 的接线图

2）FX2N－4AD 缓冲寄存器（BFM）的分配。FX2N－4AD 模拟量模块内部有一个数据缓冲寄存器区，它由 32 个 16 位的寄存器组成，编号为 BFM#0～#31，其内容与作用如表 9-2 所示。数据缓冲寄存器区内容，可以通过 PLC 的 FROM 和 TO 指令来读、写。

表 9-2　FX2N－4AD 缓冲寄存器（BFM）的分配

BFM 编号	内　　容	备　　注
#0（*）	通道初始化，用 4 位十六位数字 H××××表示，4 位数字从右到左，分别控制 1、2、3、4 等四个通道	每位数字取值范围为 0～3，其含义如下： 0 表示输入范围为－10～＋10V 1 表示输入范围为＋4～＋20mA 2 表示输入范围为－20～＋20mA 3 表示该通道关闭 默认值为 H0000

（续）

BFM 编号	内　容		备　注
#1（*）	通道 1	采样次数设置	采样次数是用于得到平均值，其设置范围为 1 ~ 4096，默认值为 8
#2（*）	通道 2		
#3（*）	通道 3		
#4（*）	通道 4		
#5	通道 1	平均值存放单元	根据#1 ~ #4 缓冲寄存器的采样次数，分别得出的每个通道的平均值
#6	通道 2		
#7	通道 3		
#8	通道 4		
#9	通道 1	当前值存放单元	每个输入通道读入的当前值
#10	通道 2		
#11	通道 3		
#12	通道 4		
#13 ~ #14	保留		
#15（*）	A/D 转换速度设置		设为 0 时：正常速度，15ms/通道（默认值） 设为 1 时：高速度，6ms/通道
#16 ~ #19	保留		
#20（*）	复位到默认值和预设值		默认值为 0；设为 1 时，所有设置将复位默认值
#21（*）	禁止调整偏置和增益值		b1、b0 位设为 1、0 时，禁止； b1、b0 位设为 0、1 时，允许（默认值）
#22（*）	偏置、增益调整通道设置		b7 与 b6、b5 与 b4、b3 与 b2、b1 与 b0 分别表示调整通道 4、3、2、1 的增益与偏置值
#23（*）	偏置值设置		默认值为 0000，单位为 mV 或 μA
#24（*）	增益值设置		默认值为 5000，单位为 mV 或 μA
#25 ~ #28	保留		
#29	错误信息		表示本模块的出错类型
#30	识别码（K2010）		固定为 K2010，可用 FROM 读出识别码来确认此模块
#31	禁用		

注：带（*）的缓冲寄存器可用 TO 指令写入，其他可用 FROM 指令读出；偏置值是指当数字输出为 0 时的模拟量输入值；增益值是指当数字输出为 +1000 时的模拟量输入值。

3）FX2N－2AD 偏置与增益的调整。FX2N－2AD 出厂时偏置值和增益值已经设置成：数字值为 0 ~ 4000，电压输入为 0 到 10V；当 FX2N－2AD 用作电流输入或 DC 0 ~ 5V 输入时，或根据工程设定的输入特性进行输入时，就必须重新调整偏置值和增益值。偏置值和增益值的调节是对实际的模拟输入值设定一个数字值，可通过 FX2N－2AD 的容量调节器，并使用电压和电流表来完成。

增益值可设置为 0 ~ 4000 的任意数字值。但是，为了得到 12 位的最大分辨率，电压输

入时，对于 10V 的模拟输入值，数字值调整到 4000；电流输入时，对于 20mA 的模拟输入值，数字值调整到 4000。

偏置值也可根据需要任意进行调整。但一般情况下，电压输入时，偏置值设为 0V；电流输入时，偏置值设为 4mA。当使用的数字范围为 0 ~ 4000，模拟范围为 4 ~ 20mA 时，数字值 0 等于 4mA 的模拟输出值，如图 9-2 所示。

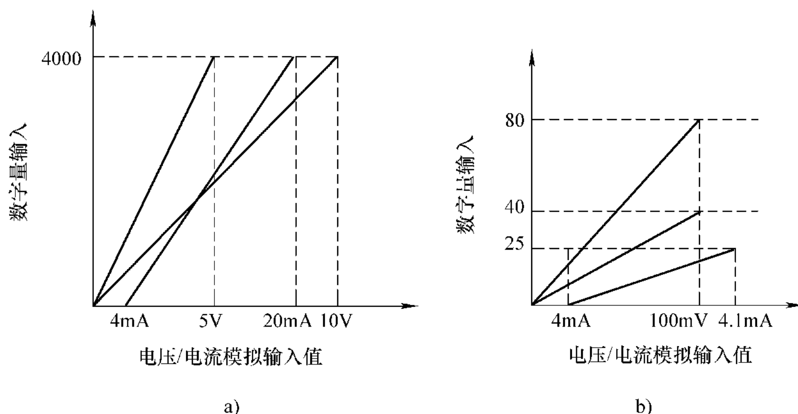


图 9-2　FX2N－2AD 增益和偏置调整特性
a）增益调整　b）偏置调整

例如，当模拟范围为 0 ~ 10V，使用的数字范围为 0 ~ 4000 时，数字值 40 等于 100mV 的模拟输入（40 × 10V/4000 数字点）。

调整偏置与增益时应该注意以下几个问题：

1）对通道 1 和通道 2 同时进行偏置调整和增益调整，当调整了一个通道的增益值/偏置值时，另一个通道的值也会自动调整；

2）反复交替调整偏置值和增益值，直到获得稳定的数值；

3）当数字值不稳定时，需调整增益值/偏置值；

4）当调整偏置、增益时，按照增益调整和偏置调整的顺序进行。

2. 模拟量输出模块

（1）模拟量输出模块简介

1）模拟量输出模块 FX2N－2DA。该模块用于将 12 位的数字量转换成 2 点模拟输出。输出的形式可为电压，也可为电流。其选择取决于接线不同。电压输出时，两个模拟输出通道输出信号为 DC 0 ~ 10V，DC 0 ~ 5V；电流输出时为 DC 4 ~ 20mA。分辨率为 2. 5mV（DC 0 ~ 10V）和 4mA（4 ~ 20mA）。数字到模拟的转换特性可进行调整。转换速度为 4ms/通道。本模块需占用 8 个 I/O 点，适用于 FX1N、FX2N、FX2N 子系列。

2）模拟量输出模块 FX2N－4DA。该模块有 4 个输出通道，提供了 12 位高精度分辨率的数字输入。转换速度为 2. 1ms/4 通道，使用的通道数变化不会改变转换速度。其他的性能与 FX2N－2DA 相似。

（2）模拟量输出模块接线与缓冲寄存器（BFM）的分配

下面主要介绍常用的模拟量输出模块 FX2N－2DA 接线与缓冲寄存器（BFM）的分配。

1）FX2N－2DA 的接线。FX2N－2DA 的接线图如图 9-3 所示。图中模拟输出信号采用

双绞屏蔽电缆与外部执行机构变频器、记录器等连接，电缆应远离电源线或其他可能产生电气干扰的导线。当电压输出有波动或存在大量噪声干扰时，可以接一个 0.1 ~ 0.47μF（25V）的电容。对于电压输出，应将端子 IOUT 和 COM 连接；对于电流输出，只有端子 IOUT 和 COM 连接。FX2N－2DA 接地端与 PLC 主单元接地端连接。

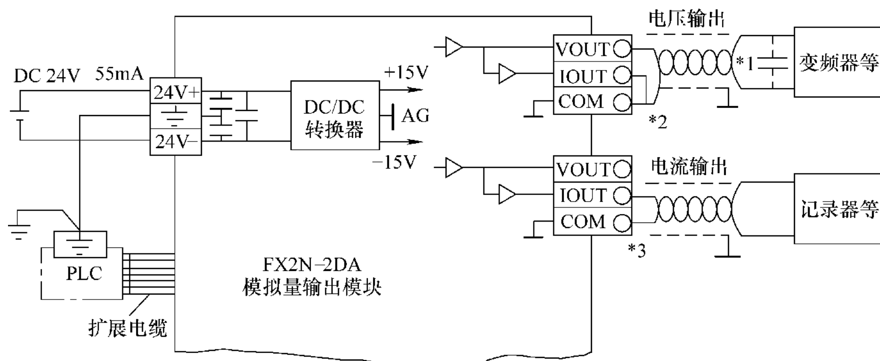


图 9-3　FX2N－2DA 的接线图

2）FX2N－2DA 的缓冲寄存器（BFM）分配。FX2N－2DA 模拟量模块内部有一个数据缓冲寄存器区，它由 32 个 16 位的寄存器组成，编号为 BFM#0 ~ #31，其内容与作用如表 9-3 所示。数据缓冲寄存器区的内容可以通过 PLC 的 FROM 和 TO 指令来读、写。

表 9-3　FX2N－2DA 缓冲寄存器（BFM）的分配

BFM 编号	内　容		备　注
#0	通道初始化，用 2 位十六位数字 H× ×表示，2 位数字从右到左，分别控制 CH1、CH2 等两个通道		每位数字取值范围为 0、1，其含义如下： 0 表示输出范围为－10 ~ ＋10V 1 表示输入范围为＋4 ~ ＋20mA
#1	通道 1	存放输出数据	
#2	通道 2	存放输出数据	
#3 ~ #4	保留		
#5	输出保持与复位 默认值为 H00		H00 表示 CH2 保持、CH1 保持 H01 表示 CH2 保持、CH1 复位 H10 表示 CH2 复位、CH1 保持 H11 表示 CH2 复位、CH1 复位
#6 ~ #15	保留		
#16	输出数据的当前值		8 位数据存于 b7 ~ b0
#17	转换通道设置		将 b0 由 1 变成 0，CH2 的 D/A 转换开始 将 b1 由 1 变成 0，CH1 的 D/A 转换开始 将 b2 由 1 变成 0，D/A 转换的低 8 位数据保持
#18 ~ #19	保留		
#20	复位到默认值和预设值		默认值为 0；设为 1 时，所有设置将复位默认值
#21	禁止调整偏置和增益值		b1、b0 位设为 1、0 时，禁止； b1、b0 位设为 0、1 时，允许（默认值）

（续）

BFM 编号	内　　容	备　　注
#22	偏置、增益调整通道设置	b3 与 b2、b1 与 b0 分别表示调整 CH2、CH1 的增益与偏置值
#23	偏置值设置	默认值为 0000，单位为 mV 或 μA
#24	增益值设置	默认值为 5000，单位为 mV 或 μA
#25 ~ #28	保留	
#29	错误信息	表示本模块的出错类型
#30	识别码（K3010）	固定为 K3010，可用 FROM 读出识别码来确认此模块
#31	禁用	

3）FX2N－2DA 偏置与增益的调整。FX2N－2DA 出厂时偏置值和增益值已经设置成：数字值为 0 ~ 4000，电压输出为 0 ~ 10V。当 FX2N－2DA 用作电流输出时，必须重新调整偏置值和增益值。偏置值和增益值的调节是对数字值设置实际的输出模拟值，可通过 FX2N－2DA 的容量调节器，并使用电压和电流表来完成。

增益值可设置为 0 ~ 4000 的任意数字值。但是，为了得到 12 位的最大分辨率，电压输出时，对于 10V 的模拟输出值，数字值调整到 4000；电流输出时，对于 20mA 的模拟输出值，数字值调整到 4000。

偏置值也可根据需要任意进行调整。但一般情况下，电压输入时，偏置值设为 0V；电流输入时，偏置值设为 4mA，如图 9-4 所示。

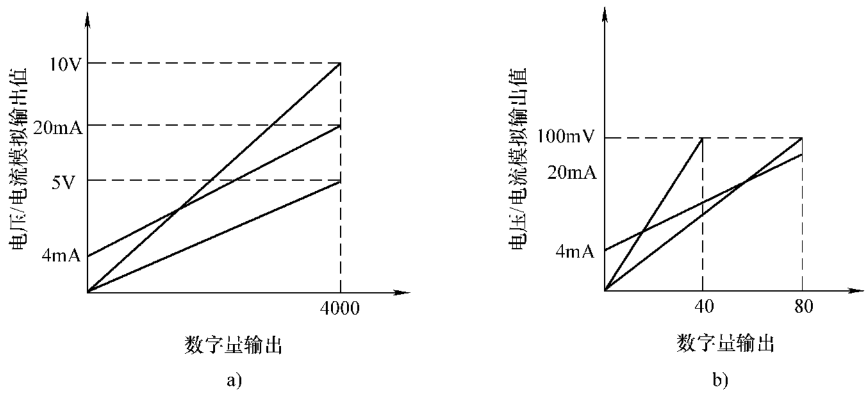


图 9-4　FX2N－2DA 增益和偏置调整特性

a）增益调整　b）偏置调整

例如，当使用的数字范围为 0 ~ 4000，模拟范围为 0 ~ 10V 时，数字值 40 等于 100mV 的模拟输出（40 × 10V/4000 数字点）；当使用的数字范围为 0 ~ 4000，模拟范围为 4 ~ 20mA 时，数字值 0 等于 4mA 的模拟输出值。

调整偏置与增益时应该注意以下几个问题：

1）对通道 1 和通道 2 分别进行偏置调整和增益调整；

2）反复交替调整偏置值和增益值，直到获得稳定的数值；

3）当调整偏置、增益时，按照增益调整和偏置调整的顺序进行。

3. 模拟量模块的编程

（1）特殊功能模块的编号

模拟量输入、模拟量输出等特殊功能模块都可与 PLC 基本单元的扩展总线直接连接。各模块与基本单元连接时统一编号，从最靠近基本单元的模块开始，按连接顺序从 0 到 7 对各个特殊功能模块进行编号。最多可连接 8 个特殊功能模块。图 9-5 所示的连接方式，FX2N－4AD、FX2N－2DA、FX2N－4AD－TC 的编号分别为 0、1、2。

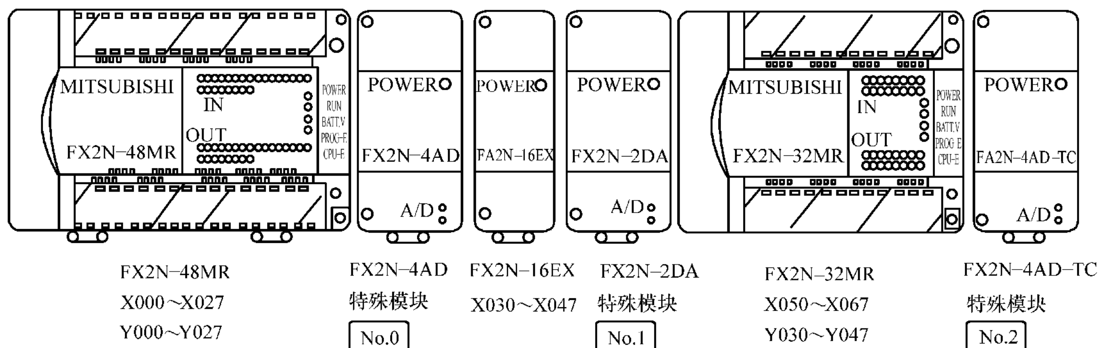


图 9-5　特殊功能模块的连接与编号示意图

（2）特殊功能模块的读/写指令

特殊功能模块的读指令 FROM（FNC78）的目标操作数［D.］为 K_nY，K_nM、K_nS、T、C、D、V 和 Z。m1 为特殊功能模块的编号，m1＝0～7；m2 为该特殊功能模块中缓冲寄存器（BFM）的编号，m2＝0～32767；n 是待传送数据的字数，n＝1～32767，16 位操作指令的 n＝2 和 32 位操作指令的 n＝1 含义相同。如图 9-6 所示，当 X0 为 ON 时，将编号为 0 的特殊功能模块中编号从 29 开始的 2 个缓冲寄存器（BFM29、BFM30）的数据读入 PLC，并存入 D4 开始的 2 个数据寄存器中（即 D4、D5）。

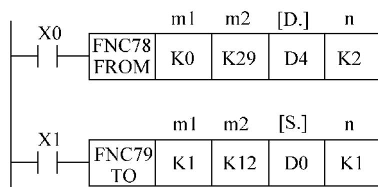


图 9-6　特殊功能模块的读/写指令

特殊功能模块的写指令 TO（FNC79）的源操作数［S.］可取所有的数据类型，m1、m2、n 的取值范围与 FROM 指令相同。如图 9-6 所示，当 X1 为 ON 时，将 PLC 基本单元中从 D0 指定的元件开始的 1 个字的数据写到编号为 1 的特殊功能模块中编号 12 开始的 1 个缓冲寄存器中。

当 M8028 为 ON 时，在 FROM 和 TO 指令执行过程中禁止中断，在此期间发生的中断在 FROM 和 TO 指令执行完后再执行；当 M8028 为 OFF 时，指令执行过程中不禁止中断。

（3）编程举例

例 1：FX2N－4AD 模块在 0 号位置，其通道 CH1 和 CH2 作为电压输入，CH3、CH4 关闭，平均值采样次数为 4，数据存储器 D1 和 D2 用于接收 CH1、CH2 输入的平均值。程序如图 9-7 所示，虽然前两行程序对完成模拟量读入来说不是必需的，但它确实是有用的检查，因此推荐使用。



图 9-7　FX2N－4AD 的编程示例

例 2：FX2N－2DA 模块在 1 号位置，其通道 CH1 和 CH2 作为电压输出，将数据存储器 D1 和 D2 的内容通过 CH1、CH2 输出。程序如图 9-8 所示，X000 接通时，通道 1（CH1）执行数字到模拟量的转换；X001 接通时，通道 2（CH2）执行数字到模拟量的转换。

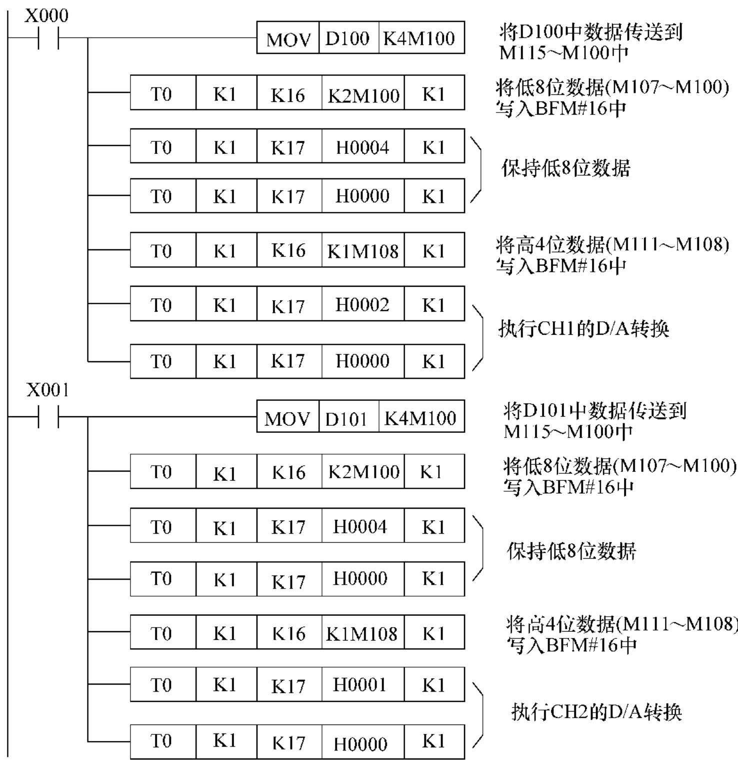


图 9-8　FX2N－2DA 的编程示例

9.2　通信模块

PLC 的通信模块是用来完成与别的 PLC、其他智能控制设备或计算机之间的通信。下面简单介绍一下 FX 系列通信扩展板、适配器及通信模块。

1. 通信扩展板 FX2N－232－BD

FX2N－232－BD 是以 RS－232C 传输标准连接 PLC 与其他设备的接口板，如个人计算机、条码阅读器或打印机等。可安装在 FX2N 内部。其最大传输距离为 15m，最高比特率为 19200bit/s，利用专用软件可实现对 PLC 运行状态监控，也可方便地由个人计算机向 PLC 传送程序。

2. 通信接口模块 FX2N－232IF

FX2N－232IF 连接到 FX2N 系列 PLC 上，可实现与其他配有 RS－232C 接口的设备进行全双工串行通信，如个人计算机、打印机、条形码读出器等。在 FX2N 系列上最多可连接 8 块 FX2N－232IF 模块。用 FROM/TO 指令收发数据。最大传输距离为 15m，最高比特率为 19200bit/s，占用 8 个 I/O 点。数据长度、串行通信比特率等都可由特殊数据寄存器设置。

3. 通信扩展板 FX2N－485－BD

FX2N－485－BD 用于 RS－485 通信方式。它可以应用于无协议的数据传送。FX2N－485－BD 在原协议通信方式时，利用 RS 指令在个人计算机、条码阅读器、打印机之间进行数据传送。传送的最大传输距离为 50m，最高比特率也为 19200bit/s。每一台 FX2N 系列 PLC 可安装一块 FX2N－485－BD 通信板。除利用此通信板来实现与计算机的通信外，还可以用它实现两台 FX2N 系列 PLC 之间的并联。

4. 通信扩展板 FX2N－422－BD

FX2N－422－BD 应用于 RS－422 通信，可连接 FX2N 系列的 PLC 上，并作为编程或控制工具的一个端口。可用此接口在 PLC 上连接 PLC 的外部设备、数据存储单元和人机界面。利用 FX2N－422－BD 可连接两个数据存储单元（DU）或一个 DU 系列单元和一个编程工具，但一次只能连接一个编程工具。每一个基本单元只能连接一个 FX2N－422－BD，且不能与 FX2N－485－BD 或 FX2N－232－BD 一起使用。

5. 接口模块 MSLSECNET/MINI

采用 MSLSECNET/MINI 接口模块，FX 系列 PLC 可用作为 A 系列 PLC 的就地控制站，构成集散控制系统。

9.3　其他特殊模块简介

1. 高速计数模块

PLC 中普通的计数器由于受到扫描周期的限制，其最高的工作频率不高，一般仅有几十 kHz，而在工业应用中有时超过这个工作频率。高速计数模块就是为了满足这一要求，它可达到对几十 kHz 以上，甚至 MHz 的脉冲计数。FX2N 内部设有高速计数器，系统还配有 FX2N－1HC 高速计数器模块，可作为 2 相 50kHz 一个通道的高速计数，通过 PLC 的指令或外部输入可进行计数器的复位或起动，其技术指标如表 9-4 所示。

2. PID 过程控制模块

FX2N－2LC 温度调节模块用在温度控制系统中。该模块配有 2 通道的温度输入和 2 通道晶体管输出，即一块能组成两个温度调节系统。模块提供了自调节的 PID 控制和 PI 控制，控制的运行周期为 500ms，占用 8 个 I/O 点数，可用于 FX1N、FX2N、FX2NC 子系列。

表 9-4　FX2N－1HC 高速计数器模块技术指标

指　　标	描　　述
信号等级	5V、12V 和 24V 依赖于连接端子。线驱动器输出型连接到 5V 端子上
频率	单相单输入：不超过 50kHz 单相双输入：每个不超过 50kHz 双相双输入：不超过 50kHz（1 倍数）；不超过 25kHz（2 倍数）；不超过 12.5kHz（4 倍数）
计数器范围	32 位二进制计数器：－2147 483 648 ~ +2 147 483 647 16 位二进制计数器：0 ~ 65535
计数方式	自动时向上/向下（单相双输入或双相双输入）；当工作在单相单输入方式时，向上/向下由一个 PLC 或外部输入端子确定
比较类型	YH：直接输出，通过硬件比较器处理 YS：软件比较器处理后输出，最大延迟时间为 300ms
输出类型	NPN 开路输出 2 点，5 ~ 24V；直流每点 0.5A
辅助功能	可以通过 PLC 的参数来设置模式和比较结果，可以监测当前值、比较结果和误差状态
占用的 I/O 点数	这个块占用 8 输入或输出点（输入或输出均可）
基本单元提供的电源	5V、90mA 直流（主单元提供的内部电源或电源扩展单元）
适用的控制器	FX1N/FX2N/FX2NC（需要 FX2NC－CNV－IF）
尺寸（宽）×（厚）×（高）	55mm × 87mm × 90mm（2.71in × 3.43in × 3.54in）
质量（重量）	0.3kg（0.66ibs）

3. 定位控制模块

在机械工作运行过程中工作的速度与精度往往存在矛盾，为提高机械效率而提高速度时，停车控制上便出现了问题。所以，进行定位控制是十分必要的。举一个简单的例子，电动机带动的机械由起动位置返回原位，如以最快的速度返回，由于高速停车惯性大，则在返回原位时偏差必然较大，如图 9-9a 所示；若采用图 9-9b 所示的方式先减速便可保证定位的准确性。

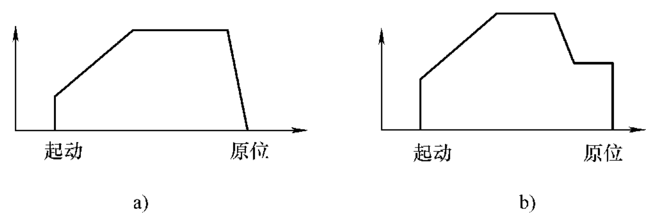


图 9-9　定位控制模块

在位置控制系统中常会采用伺服电动机和步进电动机作为驱动装置。既可采用开环控制，也可采用闭环控制。对于步进电动机，可以采用调节发送脉冲的速度改变机械的工作速度。使用 FX 系列 PLC，通过脉冲输出形式的定位单元或模块，即可实现一点或多点的定位。下面介绍 FX2N 系列的脉冲输出模块和定位控制模块。

（1）脉冲输出模块 FX2N－1PG

FX2N－1PG 脉冲发生器单元可以完成一个对独立轴的定位，这是通过向伺服或步进电动机的驱动放大器提供指定数量的脉冲来实现的。FX2N－1PG 只用于 FX2N 子系列，用 FROM/TO 指令设定各种参数，读出定位值和运行速度。该模块占用 8 个 I/O 点。输出最高为 100kHz 的脉冲串。

（2）定位控制模块 FX2N－10GM

FX2N－10GM 为脉冲序列输出单元，它是单轴定位单元，不仅能处理单速定位和中断定位，而且能处理复杂的控制，如多速操作。FX2N－10GM 最多可有 8 个连接在 FX2N 系列 PLC 上，最大输出脉冲为 200kHz。

（3）定位控制器 FX2N－20GM

一个 FX2N－20GM 可控制两个轴。可执行直线插补、圆弧插补或独立的两轴定位控制，最大输出脉冲串为 200kHz（在插补期间，最大为 100kHz）。FX2N－10GM、FX2N－20GM 均用流程图的编程软件，可使程序的开发具有可视性。

（4）可编程序凸轮开关 FX2N－1RM－SET

在机械传动控制中经常要对角位置检测，在不同的角度位置时发出不同的导通、关断信号。过去采用机械凸轮开关。机械式开关虽精度高但易磨损。FX2N－1RM－SET 可编程序凸轮开关可用来取代机械凸轮开关实现高精度角度位置检测。配套的转角传感器电缆长度最长可达 100m。应用时与其他可编程序凸轮开关主体、无刷分解器等一起可进行高精度的动作角度设定和监控，其内部有 EEPROM，无须电池。可储存 8 种不同的程序。FX2N－1RM－SET 可接在 FX2N 上，也可单独使用。FX2N 最多可接 3 块。它在程序中占用 PLC 的 8 个 I/O 点。

参 考 文 献

［1］宫淑贞，徐世许．可编程控制器原理及应用［M］．北京：人民邮电出版社，2009.
［2］张还．三菱 FX 系列 PLC 设计与开发［M］．北京：机械工业出版社，2010.
［3］廖常初．PLC 编程及应用［M］．3 版．北京：机械工业出版社，2011.

读者需求调查表

亲爱的读者朋友：

您好！为了提升我们图书出版工作的有效性，为您提供更好的图书产品和服务，我们进行此次关于读者需求的调研活动，恳请您在百忙之中予以协助，留下您宝贵的意见与建议！

个人信息

姓　　名：		出生年月：		学　　历：	
联系电话：		手　　机：		E－mail：	
工作单位：				职　　务：	
通讯地址：				邮　　编：	

1. 您感兴趣的科技类图书有哪些？

□自动化技术　□电工技术　□电力技术　□电子技术　□仪器仪表　□建筑电气

□其他（　　）以上各大类中您最关心的细分技术（如 PLC）是：（　　）

2. 您关注的图书类型有

□技术手册　□产品手册　□基础入门　□产品应用　□产品设计　□维修维护

□技能培训　□技能技巧　□识图读图　□技术原理　□实操　□应用软件

□其他（　　）

3. 您最喜欢的图书叙述形式

□问答型　□论述型　□实例型　□图文对照　□图表　□其他（　　）

4. 您最喜欢的图书开本

□口袋本　□32 开　□B5　□16 开　□图册　□其他（　　）

5. 图书信息获得渠道：

□图书征订单　□图书目录　□书店查询　□书店广告　□网络书店　□专业网站

□专业杂志　□专业报纸　□专业会议　□朋友介绍　□其他（　　）

6. 购书途径

□书店　□网站　□出版社　□单位集中采购　□其他（　　）

7. 您认为图书的合理价位是（元/册）：

手册（　　）　图册（　　）　技术应用（　　）　技能培训（　　）

基础入门（　　）　其他（　　）

8. 每年购书费用

□100 元以下　□101～200 元　□201～300 元　□300 元以上

9. 您是否有本专业的写作计划？

□否　□是（具体情况：　　　）

非常感谢您对我们的支持，如果您还有什么问题欢迎和我们联系沟通！

地　　址：北京市西城区百万庄大街 22 号　机械工业出版社电工电子分社　邮编：100037

联 系 人：张俊红　联系电话：13520543780　传真：010－68326336

电子邮箱：buptzjh@163.com（可来信索取本表电子版）

编著图书推荐表

姓名：		出生年月：		职称/职务：		专业：	
单位：				E－mail：			
通讯地址：						邮政编码：	
联系电话：			研究方向及教学科目：				
个人简历（毕业院校、专业、从事过的以及正在从事的项目、发表过的论文）							
您近期的写作计划有：							
您推荐的国外原版图书有：							
您认为目前市场上最缺乏的图书及类型有：							

地址：北京市西城区百万庄大街 22 号　机械工业出版社　电工电子分社

邮编：100037　网址：www. cmpbook. com

联系人：张俊红　电话：13520543780/010－68326336（传真）

E－mail：buptzjh@ 163. com（可来信索取本表电子版）

策划编辑：张俊红
封面设计：马精明

BIANPEI YONGDIAN SHEBEI
DIANQI SHIYAN YU
DIANXING GUZHANG FENXI JI CHULI

上架指导：工业技术/电气工程/电气自动化

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203
邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-38028-3
定价：49.80元

